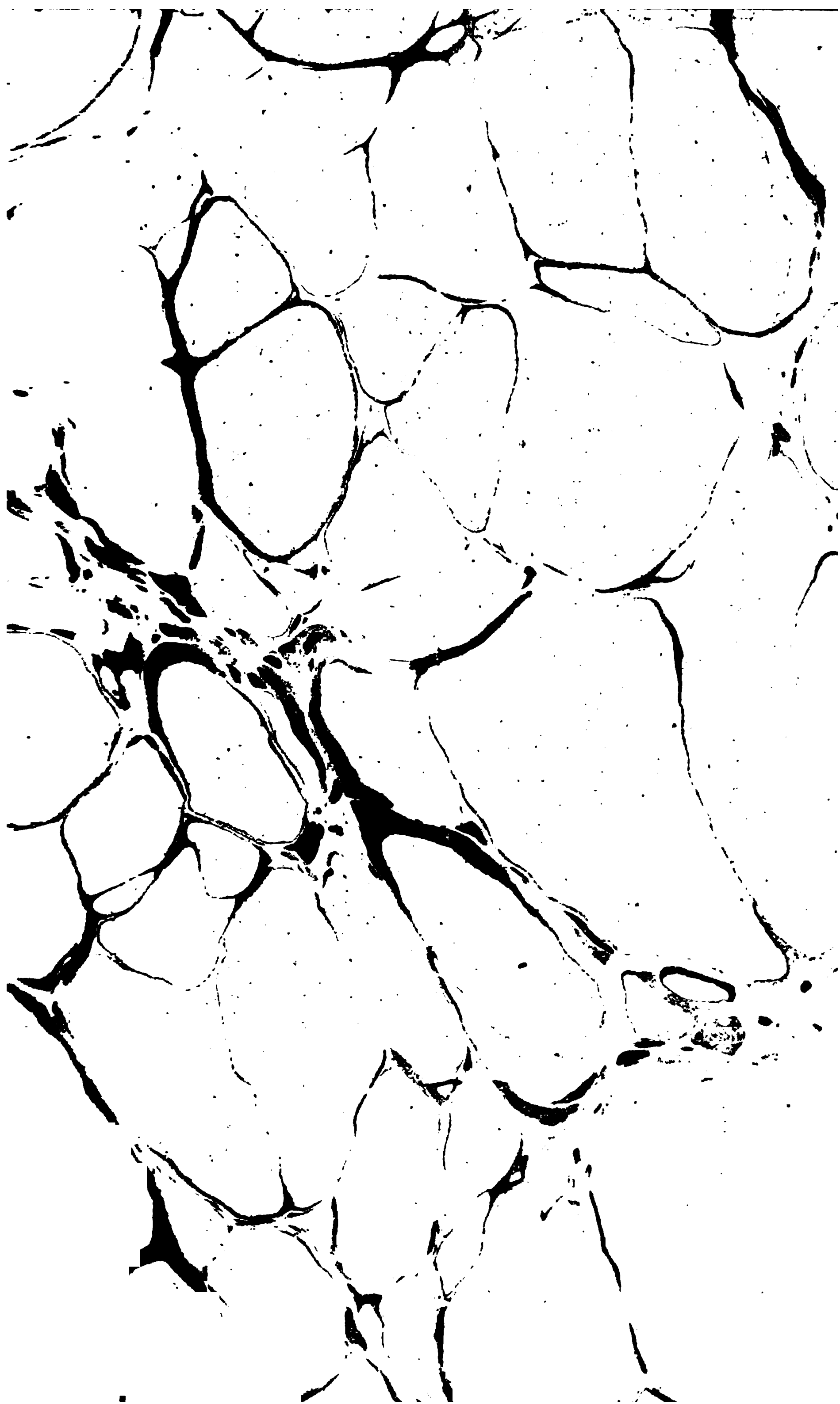




ANNALES

DU

CONSERVATOIRE

IMPÉRIAL

DES ARTS ET MÉTIERS

Paris. — Imp. de Viéville et Capiomont, rue des Poitevins, 6.

ANNALES

DU

CONSERVATOIRE

IMPÉRIAL

DES ARTS ET MÉTIERS

PUBLIÉES PAR LES PROFESSEURS

N° 33. — TOME IX. — 1er FASCICULE.

PARIS

LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE DE J. BAUDRY, Éditeur,

RUE DES SAINTS-PÈRES, 15.

A BARCELONE, Verdaguer.
BERLIN, Ernst et Korn.
ÉDIMBOURG, Williams et Norgate.
GÊNES, L. Beuf.
LA HAYE, Belinfante frères.
LEIPZIG, F.-A. Brockhaus.
LONDRES, Barthès and Lowell.
A MADRID, Bailly-Baillière.
MOSCOU, Gautier.
NAPLES, Pellerano.
NEW-YORK, F. W. Christern.
SAINT-PÉTERSBOURG, J. Issakoff.
TURIN et FLORENCE, Bocca frères.
VIENNE, C. Gerold.

1870

INTRODUCTION

AU IXe VOLUME.

Au moment où devait paraître la première livraison du 9e volume des Annales du Conservatoire, la France a été précipitée dans une suite d'événements qui ont paralysé, dans une grande mesure, sa vie scientifique et industrielle.

Libre aujourd'hui de reprendre son essor, elle a besoin du concours de tous, et jamais les questions qui touchent à la production, sous toutes ses formes, n'ont présenté un intérêt aussi immédiat et aussi indispensable.

On comprendra, dès lors, que nous regardions comme l'un de nos principaux devoirs professionnels de reprendre cette publication, avec le vif désir de la rendre de plus en plus profitable en y admettant tous les travaux qui nous paraîtront avoir tout à la fois le caractère de la certitude scientifique et de l'utilisation industrielle.

Déjà nous avons réuni un assez grand nombre de matériaux pour être certain que notre publication peut se poursuivre sans nouveau retard ; les articles en cours de préparation sont signalés

à la fin de ce numéro, et suffisent pour montrer le cadre très-étendu de nos premières publications.

Nous accueillerons avec plaisir toutes les communications intéressantes qui pourront nous être faites dans le même ordre d'idées.

Jusqu'ici, la publication des Annales du Conservatoire avait été supportée par les professeurs de cet établissement, jaloux de joindre, dans une certaine mesure, l'enseignement écrit à leur enseignement oral, dont les auditeurs de Paris peuvent seuls profiter. Nos lecteurs apprendront avec satisfaction que, lors de l'institution du conseil supérieur de l'enseignement technique, l'administration centrale a pensé que notre recueil devait être libéralement distribué aux sociétés industrielles du pays et de l'étranger, qui nous adresseraient, par voie d'échange, leurs propres publications, et elle a mis à notre disposition quelques ressources pour la réalisation de ce projet. Les livres reçus en échange seront déposés à la Bibliothèque publique du Conservatoire, qui fournira ainsi à ses lecteurs les moyens de s'instruire, au jour le jour, sur les progrès de l'industrie dans les différents centres de fabrication. Nous nous proposons d'ailleurs de provoquer cet échange de documents par l'envoi que nous faisons dès aujourd'hui du numéro en cours de publication.

Les collections du Conservatoire, comme l'établissement lui-même, ont été respectées dans les derniers événements et sont depuis longtemps déjà ouvertes au public; le portefeuille industrielle, qui s'est enrichi dans ces dernières années d'un grand nombre de dessins de machines, dont les calques peuvent être chaque jour relevés, mérite, parmi ces collections, une mention

particulière, et il serait à désirer qu'elle fût encore plus connue et plus fréquentée.

Les expériences de mécanique vont reprendre leur cours; les laboratoires fonctionnent. Les divers enseignements de sciences appliquées seront ouverts à l'époque habituelle, le 3 novembre; mais nous avons la douleur d'annoncer la perte que nous avons faite en M. Payen, l'un de nos professeurs les plus habiles et les plus dévoués, qui avait consacré toute sa vie à l'étude de la chimie industrielle, qu'il enseignait au Conservatoire depuis trente-deux ans.

Le mémoire que nous publions dans ce numéro est un des derniers travaux de notre éminent collègue, envers lequel nous avons un devoir à remplir, celui de faire connaître la part prépondérante qu'il a exercée, pendant sa longue et laborieuse carrière, sur le développement des industries chimiques de notre pays.

H. T.

ANNALES

DU

CONSERVATOIRE

IMPÉRIAL

DES ARTS ET MÉTIERS.

RAPPORT

A SON EXCELLENCE M. LE MINISTRE DE L'AGRICULTURE,
DU COMMERCE ET DES TRAVAUX PUBLICS

SUR LA

RÉVISION DES ÉTALONS

DES BUREAUX DE VÉRIFICATION DES POIDS ET MESURES

de l'Empire français en 1867 et 1868.

Par un arrêt, en date du 10 septembre 1866, vous avez chargé une commission de prendre les mesures nécessaires au travail de la vérification générale des étalons de poids et mesures déposés dans les 370 bureaux de l'Empire. Cette commission était composée de :

M. le général Morin, directeur du Conservatoire impérial des Arts et Métiers, président,

MM. Regnault, membre de l'Académie des sciences;
Foucault, physicien de l'Observatoire impérial de Paris;
Grenet, ingénieur en chef des ponts et chaussées;
Jacquot, ingénieur en chef des mines;
Tresca, professeur de mécanique et sous-directeur du Conservatoire impérial des Arts et Métiers.

Les opérations matérielles devant être effectuées dans des locaux dépendant du Conservatoire et exigeant une surveillance active, qui ne pouvait être exercée que par les fonctionnaires de cet établissement, M. Tresca a été chargé de les suivre et d'en rendre compte dans un rapport détaillé, qui fait l'objet du présent travail.

M. Foucault, qui s'en était occupé, à diverses reprises, avec une grande attention, a été enlevé à la science avant l'achèvement du travail, et nous devons tout d'abord rappeler la part sérieuse et compétente qu'il y a prise.

Ce rapport devant embrasser toutes les parties du service, sera nécessairement subdivisé en un assez grand nombre de chapitres dont les titres indiquent suffisamment l'objet :

Considérations générales.
Opérations préliminaires.
Degré de précision des opérations.
Subdivision du travail.
Réception et distribution des envois.
Bureau d'étalonnage des mètres.
Bureau d'étalonnage des poids.
Bureau d'étalonnage des mesures de capacité.
Emballage et réexpédition des étalons.
Comptabilité et dépenses.
Comptabilité-matières.
Conservation et emploi des étalons.
Etat actuel des bureaux de vérification.
Conclusions de la commission.

Les trois premiers chapitres se bornent à préciser le but du travail; les deux derniers formulent les conclusions de la commission. Tous les chapitres intermédiaires sont consacrés aux détails des opérations.

I. Considérations générales.

Avant l'adoption du système métrique, chaque localité du pays pouvait employer des unités différentes de poids et mesures, et la pensée de l'uniformité des poids et mesures de toute la France n'a été légalement formulée que par le décret du 8 mai-22 août 1790, qui indique en même temps les premières dispositions qui devraient être prises pour la mesure du pendule et pour en déduire un modèle invariable pour toutes les mesures et pour tous les poids.

La loi du 26-30 mars 1791, se fondant sur l'avis qui venait d'être donné par l'Académie des sciences, a décidé que le quart du méridien terrestre servirait de base au nouveau système de poids et mesures, mais c'est seulement par celle du 1er août 1793 que les nouvelles dénominations apparaissent, d'une manière encore incomplète, et que la longueur provisoire du mètre est fixée à 3 pieds 11 lignes 44 centièmes de ligne.

La loi du 1er brumaire an II ordonne la fabrication d'étalons prototypes de poids-étalons en platine, pour être « conservés sous l'autorité immédiate du Corps législatif, » mais la véritable loi qui a posé les bases du système métrique est celle du 18 germinal an III; elle fixe pour toutes les mesures les dénominations définitives, telles qu'elles ont été conservées depuis lors.

« La Convention nationale, voulant assurer au peuple français le bienfait des poids et mesures uniformes et invariables précédemment décrétés, et prendre les moyens les plus efficaces pour en faciliter l'introduction dans toute la république, après avoir entendu le rapport de son comité d'instruction publique, décrète :

« Art. II. Il n'y aura qu'un seul étalon des poids et mesures pour toute la république; ce sera une règle de platine sur laquelle sera tracé le mètre qui a été adopté pour l'unité fondamentale de tout le système de mesures. »

Les articles V, VI et VII déterminent toutes les dénominations.

Ainsi décidé en principe, le système métrique devait exiger bien des travaux et bien des efforts avant d'être adopté, comme il l'est aujourd'hui, par l'opinion publique et les habitudes commerciales.

La loi du 18 brumaire an III, qui posait les premières bases de son application, décidait simplement que :

« Art. X. Les opérations relatives à l'unité des mesures de longueur et de poids, déduites de la grandeur de la terre, commencées par l'Académie des sciences et suivies par la commission temporaire, seront continuées jusqu'à leur entier achèvement par des commissaires particuliers, choisis principalement parmi les savants qui y ont concouru jusqu'à présent et dont la liste sera arrêtée par le comité d'instruction publique. »

Les commissaires, qui se sont illustrés par ce travail, furent nommés le 28 germinal : c'étaient Berthollet, Borda, Brisson, Coulomb, Delambre, Haüy, Lagrange, Méchain, Monge, Prony et Vandermonde. Il ne serait permis d'omettre aucun de ces noms lorsqu'il s'agit de rendre compte de quelques-unes des opérations qui se rattachent à l'application du système métrique, non plus que celui de Lavoisier qui avait, autant qu'aucun d'eux, pris l'initiative des premiers travaux, mais qui avait déjà péri, victime de la grande position qu'il savait si bien consacrer aux sciences et aux découvertes.

Le 21 floréal, les commissaires décidèrent immédiatement : « Il sera procédé sans délai à la fabrication d'un mètre en cuivre, de la plus grande exactitude possible, et qui sera remis au comité d'instruction pour pouvoir servir d'étalon provisoire et légal. »

Le travail est partagé entre les commissaires :

Borda et Brisson s'occuperont de la confection du mètre provisoire; Méchain, Delambre, Laplace et Prony seront chargés des mesures géodésiques; Borda, Haüy et Prony, de la confection du kilogramme provisoire; Berthollet, Monge et Vandermonde, de celle des étalons en platine.

Les savants étrangers qui avaient reçu l'invitation de se rendre à Paris, dans les premiers jours de l'an VII, pour prendre une connaissance intime des opérations exécutées, vinrent, dès la même année, prêter leur précieux concours aux opérations et aux calculs.

Toutes les opérations géodésiques ont d'ailleurs été décrites et calculées dans l'ouvrage de Méchain et Delambre, intitulé : *Base du système métrique*, ouvrage qui est, par lui-même, un des monuments du nouveau système des poids et mesures.

Le mètre devait être égal, à la température de 0°, à la dix-millionième partie du quart du méridien, et cette définition conduisit à le faire d'une longueur égale à 443 lignes 296 millièmes de la toise employée précédemment à la mesure d'une base au Pérou.

Le 11 Prairial an VII, Trallès donna connaissance de son rapport sur l'unité de poids du système métrique d'après le travail de Lefèvre-Gineau.

Enfin, le 4 messidor an VII, les étalons prototypes du mètre et du kilogramme furent présentés à la barre des deux conseils du Corps législatif et déposés aux archives nationales où ils sont encore aujourd'hui.

Ces étalons sont les bases immuables de notre système métrique, qui est devenu légal et obligatoire en France, en vertu de la loi du 28 pluviose an VIII.

Le mètre-étalon en platine a été exécuté par Lenoir, ainsi qu'un autre mètre-étalon, également en platine, destiné au bureau des prototypés créé au ministère de l'Intérieur, et transféré plus tard au Conservatoire des Arts et métiers.

Il en est de même pour le kilogramme en platine des archives qui a été exécuté par Fortin, ainsi que l'étalon en tout semblable que possède également le Conservatoire.

Les lois antérieures, et particulièrement celle du 1er vendémiaire an IV, n'ont pu recevoir leur exécution complète qu'à partir de cette époque, particulièrement en ce qui concerne les stipulations de son article VI, qui était ainsi conçu :

« Art. VI. Le renouvellement des anciens poids et mesures de toute espèce sera progressivement exécuté dans toute la France, en conformité de l'art. 9 de la loi du 18 germinal dernier et des dispositions du présent décret.

« A cet effet, dès que la fabrication des nouvelles mesures et les autres moyens préparatoires permettront d'opérer le remplacement, dans une partie déterminée de la république, il en sera rendu compte au directoire exécutif, qui fera une proclamation pour annoncer les moyens de ce remplacement et rappeler ce qui est prescrit par les lois à ce sujet.

« Art. VII. Deux mois après la publication et l'affiche de cette proclamation, l'usage des mesures républicaines qui en seront

l'objet deviendra obligatoire pour tous les marchands, dans toute l'étendue du territoire désigné. »

Les nouvelles mesures furent acceptées, tantôt avec empressement, tantôt avec une résistance marquée, et nous ne trouvons plus aucune décision importante, d'un caractère tout à fait général, avant le décret du 12 février 1812.

La disposition principale de ce décret laissait subsister les anciennes dénominations.

« Art. III. Ces instrumens porteront, sur leurs diverses faces, les comparaisons des divisions et des dénominations établies par les lois avec celles anciennement en usage. »

Nous n'avons pas à rechercher si cette tolérance a nui pendant longtemps à l'adoption exclusive du système métrique, ou si, au contraire, elle a été, conformément à la pensée qui l'avait établie, un moyen de transition indispensable entre les anciennes habitudes et les nouvelles; mais le décret du 12 février 1812 a été abrogé par la loi du 4 juillet 1837, qui a prescrit l'interdiction de tous poids et mesures autres que les poids et mesures établis par les lois des 18 germinal an III et 19 frimaire an VIII, et qui a également supprimé toutes les dénominations contraires à celles du système métrique décimal.

L'art. VII de cette loi stipule que les vérificateurs des poids et mesures constateront les contraventions prévues par les lois et règlements concernant le système métrique des poids et mesures.

L'ordonnance du roi du 17 avril 1839 avait réglé, ainsi qu'il suit, le mode de nomination des vérificateurs :

« Art. I. La vérification des poids et mesures destinés et servant au commerce est faite, sous la surveillance des préfets et sous-préfets, par des agents nommés et révocables par notre ministre secrétaire d'État des travaux publics, de l'agriculture et du commerce. Mais, par un décret du 25 mars 1852, ces nominations ont été attribuées aux préfets, qui « nommeront directement, sans l'intervention du gouvernement et sur la présentation des divers chefs de services, 9°, les vérificateurs des poids et mesures. »

L'art. II de la loi décide que : « un vérificateur est nommé par chaque arrondissement; son bureau est établi, autant que pos-

sible, au chef-lieu. » Conformément à cette décision, il y avait en France, en 1866, 369 bureaux de vérification, sans compter ceux des colonies et de l'Algérie. Un seul, celui d'Altkirch, était établi ailleurs qu'au siége de la sous-préfecture. En 1868, un nouveau bureau a été créé à Roubaix, dans le ressort de la préfecture de Lille, ce qui porte le nombre total des bureaux, en France, à 370.

Le nombre des préfectures et des sous-préfectures étant réellement de 373, la différence entre les deux chiffres provient de ce que le bureau de Quimperlé a été supprimé. Ceux de Moutiers et d'Albertville opèrent avec le même matériel.

Les sous-préfectures de Sceaux et de Saint-Denis sont comprises dans le service du bureau central établi à Paris.

Ces quatre réductions ramènent le nombre réel des bureaux à 369, auxquels il faut ajouter maintenant celui de Roubaix pour trouver le total de 370, qui vient d'être indiqué.

Par son article VII, la même loi stipulait : « Les étalons et les poinçons des bureaux de vérification sont conservés par les vérificateurs, sous leur responsabilité et sous la surveillance des préfets et des sous-préfets. » Les bureaux ont été pourvus de ces étalons au fur et à mesure de leur création, mais aucun règlement n'a déterminé ni leur nombre, ni leur nature, ni le degré de précision auxquels ils devraient satisfaire.

On trouve cependant, dans les instructions relatives aux divers genres de vérification, quelques indications sur ce sujet, sans toutefois que ces indications isolées puissent, même si elles étaient réunies, constituer autre chose que quelques prescriptions secondaires.

En ce qui regarde les mesures de longueur, le mètre est le seul étalon qui ait été fourni aux bureaux de vérification.

A la page 171 du recueil officiel des lois, ordonnances, décrets et instructions relatifs à la fabrication et la vérification des poids et mesures, il est recommandé au vérificateur de placer dans l'un des bassins de la balance le *poids-modèle* ou *étalon* auquel il s'agit de comparer le poids soumis à la verification.

Cependant les bureaux ne possèdent aucun étalon de poids inférieur au kilogramme, bien qu'ils aient en général toute la série du kilogramme au vingt-kilogrammes.

Au sujet de la vérification des mesures de capacité, la circu-

laire du 15 septembre 1839, dit (page 104) : « Les vérificateurs qui ne seront pas pourvus d'étalons en métal pour les mesures de capacité au-dessus du double décalitre... devront, etc. » Il était donc dans la pensée de l'administration de distribuer des étalons plus grands que le double décalitre.

Cependant aucun bureau ne possède de tels étalons, et il est même permis de penser qu'il n'y aurait pas d'utilité réelle à leur en fournir.

Il n'en est pas de même pour les mesures qui représentent les fractions du litre, car le vérificateur qui n'aurait à sa disposition ni le centilitre ni le décilitre se trouverait dans l'impossibilité absolue de contrôler les mesures correspondantes, à moins de se servir de ses balances, dans des conditions de précision qui ne sauraient lui être demandées.

Entre ces extrêmes, le centilitre et le double décalitre, les différents bureaux sont très-inégalement pourvus. Nous aurons soin d'indiquer les dispositions qui ont été prises pour se rapprocher, dès la fin des opérations actuelles, de l'égalité désirable entre ces bureaux.

L'ordonnance du 17 avril 1839, si précise sur certains points, ne parle des étalons que dans son article VI, ainsi conçu :

« Chaque bureau de vérification sera pourvu de l'assortiment nécessaire d'étalons vérifiés et poinçonnés au dépôt des prototypes établi près du ministère de l'agriculture et du commerce.»

Le bureau des prototypes a été transféré au Conservatoire en 1849, et c'est dans cet établissement que se sont exécutés depuis lors tous les poinçonnages des nouveaux étalons. Mais les crédits alloués pour le service des poids et mesures, soit par la loi de 1838, soit dans les crédits ordinaires du service des poids et mesures, pour compléter l'assortiment régulier de tous les étalons nécessaires à chacun des bureaux, n'ont pas permis à l'administration d'arriver encore à une égale répartition de ces éléments si importants d'un bon service.

Sous le rapport de la forme et des dimensions des poids et mesures, les instructions sont suffisamment précises en ce qui concerne les instruments du commerce, mais elles sont complétement muettes quant aux étalons.

Aussi les mètres-étalons étaient-ils très-dissemblables, soit par leurs dimensions transversales, soit même par la nature du

métal. Toute liberté ayant été donnée aux fabricants des mètres du commerce, la commission n'a eu égard, pour se guider dans les dimensions à donner aux nouveaux mètres-étalons, qu'aux conditions de rigidité et de poids convenables. Tous les mètres qu'elle a fait construire ont rigoureusement $0^m,030$ de large et $0^m,007$ d'épaisseur. Ils sont construits en laiton durci par le forgeage, et divisés en centimètres sur toute leur longueur. Le premier décimètre seul est divisé en millimètres.

Les formes et les dimensions des poids en cuivre, à l'usage du commerce, ont été très-nettement spécifiées par la circulaire de 1839 (page 158 du recueil officiel).

Un grand nombre de poids-étalons n'étaient pas conformes à ces dimensions. Ils ont été fondus ou réparés de manière à ne laisser subsister à l'avenir, dans aucun bureau, des poids que les vérificateurs auraient le devoir de détruire s'ils les trouvaient en la possession d'un commerçant.

Tous les bureaux sont ainsi munis, d'une façon absolument exclusive, de poids à boutons réglementaires.

Les instructions distinguent plusieurs sortes de mesures de capacité :

1° Mesures pour les grains et autres matières solides (page 93);
2° Mesures pour les liquides (en étain) (page 110);
3° Mesures pour le lait (en fer-blanc) (page 123).

Les dimensions intérieures de ces mesures sont indiquées dans les tables.

Le diamètre est égal à la hauteur dans les trois séries, à partir du demi-décalitre jusqu'à l'hectolitre. La même règle est encore prescrite pour les mesures de la première et de la seconde série, et c'est seulement pour les petites mesures, du centilitre au double litre, que celles de la seconde série doivent avoir une hauteur double de leur diamètre.

Cette forme est celle qui se prête le mieux à la vérification, et toutes les mesures neuves qui ont été expédiées aux bureaux sont de ce type surélevé. Cependant on a utilisé un certain nombre de litres de format surbaissé pour les bureaux qui manquaient de l'étalon du litre.

Les tolérances accordées pour les poids et mesures du commerce sont toutes indiquées dans les circulaires déjà citées,

mais aucune réglementation n'avait jamais été faite sur le degré de précision des mesures-étalons.

On semblait croire que leur exactitude devait être absolue, tandis que c'est seulement par l'évaluation exacte des différences que les comparaisons, que nos instruments nous permettent de faire, doivent trouver leur véritable sanction.

L'une des premières préoccupations de la commission a été de combler cette lacune en fixant, au contraire, le degré d'exactitude de chaque étalon, et toutes les vérifications ont pu être faites d'après une base précise, préalablement soumise à la sanction du ministre.

En parlant du poinçonnage et de la vérification des étalons par le bureau des prototypes, l'art. VI de l'ordonnance de 1839 ajoutait :

« Ces étalons devront être vérifiés de nouveau, au même dépôt, au moins une fois en dix ans. »

La pensée de cet examen décennal était déjà inscrite, du reste, dans l'art. IV du décret de 1812 :

« Nous nous réservons de nous faire rendre compte, après un délai de dix années, des résultats qu'aura fournis l'expérience sur les perfectionnements que le système des poids et mesures serait susceptible de recevoir. »

Déjà, vers 1852, un projet d'exécution avait été élaboré au Conservatoire ; mais différentes circonstances en ont retardé la réalisation, et c'est seulement en 1865 que le gouvernement a pu remettre à l'étude cette question de la vérification décennale des poids et mesures, qui aurait pu être faite dès 1849.

Près de 30 ans se sont écoulés depuis la loi de 1839 ; depuis trois quarts de siècle, la France est en possession de ce système de poids et mesures qui, après avoir été sanctionné par la présence des commissaires étrangers qui ont coopéré à toutes les opérations scientifiques que son établissement comportait, est successivement adopté par la plupart des peuples de l'Europe et de l'Amérique.

Le mètre prototype en platine et le kilogramme en platine des archives de France ont servi de base à tous les étalons employés depuis l'adoption du système métrique. C'est à eux qu'il a fallu recourir dans la vérification dont nous avons à rendre compte,

et qui va montrer comment le système métrique, représenté par des étalons d'une grande précision, déposés dans chacune des sous-préfectures de la France, offrira désormais, plus encore que par le passé, une sécurité parfaite à toutes les transactions commerciales.

Nous nous proposons d'ailleurs de résumer, dans des conclusions spéciales, les améliorations de détail qu'il nous paraîtrait utile d'introduire dans l'application, et qui nous ont été suggérées dans le cours de notre travail.

Tout ce qui touche à l'amélioration du système métrique intéresse non seulement la France, mais encore les pays étrangers qui adoptent successivement notre système, et qui se préoccupent beaucoup des moyens à employer pour assurer chez eux la loyale exécution de tous les règlements de vérification et de contrôle qui ont réussi chez nous.

Cette heureuse tendance s'est surtout manifestée dans les réunions de la commission internationale des poids et mesures à l'occasion de l'Exposition universelle de 1867, et si ce n'étaient les difficultés relatives à l'unité de monnaie, il y a tout lieu de croire que l'adoption du système métrique deviendrait bientôt générale.

La Belgique, la Hollande, l'Italie, les États pontificaux, l'Espagne, le Portugal, la Grèce, le Mexique, le Chili, le Brésil, la Nouvelle-Grenade et les républiques de l'Amérique méridionale ont déjà adopté le système métrique, qui est d'ailleurs en usage partiel en Angleterre et en Suisse.

La plupart des grands centres de l'Europe sont pourvus d'étalons métriques vérifiés au Conservatoire, dans la prévision d'une généralisation plus grande encore.

En Angleterre déjà, les facilités qu'offre le système métrique pour tous les calculs ont produit ce singulier résultat que les données de tous les travaux scientifiques sont dès à présent exprimées en unités métriques. Il est impossible de méconnaître que cette voie d'initiation lèvera bientôt les dernières résistances, et que les différents systèmes duodécimaux, si variés et si peu commodes, céderont bientôt la place au système décimal qui seul peut maintenant devenir universel. On comprend que la commission ait trouvé dans ces considérations, relatives à l'avenir du système métrique, des raisons sérieuses de ne rien négliger pour

que l'opération dont elle était chargée, si complexe qu'elle pût être, fût de tous points irréprochable.

Opérations préliminaires.

Dès sa première réunion, à la date du 27 octobre 1866, la commission a eu à se préoccuper des étalons par rapport auxquels la comparaison devait s'opérer, et du degré d'exactitude qu'elle considérait comme nécessaire dans chacune des opérations. Elle a dû, en même temps, s'assurer du nombre et de la nature des instruments de comparaison qui seraient indispensables à cette opération.

Ses avis sur les différents points ont été consignés dans les procès-verbaux de ses séances des 27 octobre et 6 décembre 1866, qui ont été chaque fois accompagnés de propositions relatives à l'exécution.

Il ne sera pas inutile de résumer dans un ordre méthodique les différentes dispositions proposées en ce qui concerne les trois genres d'étalons à vérifier.

Observations sur la vérification des mesures de longueur.

Le seul étalon déposé dans la plupart des bureaux de vérification est le mètre. Presque tous les mètres-étalons étaient en cuivre, à bouts : les uns, exécutés par Gambey, étaient d'une très-belle exécution et portaient une excellente division en centimètres et partiellement en millimètres ; les autres, livrés à diverses époques, étaient très-dissemblables ; à l'exception de ceux de Lenoir, ils étaient en général mal divisés.

Si tous ces mètres-étalons avaient été faits avec le même métal, il aurait évidemment suffi d'en vérifier la longueur totale et la division.

Quant à la longueur totale, elle devait être constatée à la température ambiante, à l'aide d'un comparateur à touches de Gambey, avec un étalon bien vérifié. On a adopté pour cet étalon un mètre de Lenoir, portant cette inscription :

Mètre conforme à l'étalon prototype de France, — Lenoir;

après l'avoir comparé lui-même, sur le comparateur dit de Sil-

bermann, à la température de la glace fondante, avec le mètre prototype en platine du Conservatoire, dont la valeur, par rapport à celui des archives, a été déterminée par le procès-verbal officiel du 5 mars 1864.

Le mètre Lenoir avait, d'après ces estimations, pour valeur à 0 :

$$L = 1^{m} - 0^{m},000\,082\,1,$$

et l'on a admis qu'il était convenable de lui conserver cette valeur dans la comparaison de tous les mètres en laiton destinés aux bureaux de vérification.

Les mètres en fer, dont la dilatation est notablement différente de celle des mètres en cuivre, devaient être supprimés et remplacés.

Quant à la vérification de la division, elle devait s'opérer de la manière suivante :

En l'absence de tout étalon officiel, divisé dans sa longueur, il était inutile de faire porter la vérification sur chaque millimètre, et il a été décidé que l'on se contenterait de comparer la longueur comprise entre la division $0^{m},20$ et la division $0^{m},90$, par rapport à la même distance observée sur un mètre-étalon de Gambey que possède le Conservatoire, et qui est muni d'une division très-soignée, en millimètres, sur palladium. Ce mètre-type étant fixé verticalement sur un support, on devait successivement placer à côté de lui, sur ce même support, chacun des mètres à comparer.

Un cathétomètre à deux lunettes, établi spécialement pour cet objet, reportait la distance $0^{m},70$ mesurée sur le mètre de Gambey, sur le mètre en vérification, et la vis micrométrique de l'instrument permettait d'estimer, au centième de millimètre près, chaque différence de longueur.

Ce mode d'observation, quoique très-rapide, a fourni de bons résultats.

Chacun des bureaux de vérification devait, par ce procédé, recevoir un excellent étalon.

Observations sur la vérification des poids.

La plupart des bureaux de vérification possèdent avec le kilo-

gramme, le double-kilogramme, et les étalons de cinq kilogrammes, de dix kilogrammes et vingt kilogrammes, en tout cinq étalons, portant le nombre des vérifications à faire au chiffre de près de deux mille pour les 370 bureaux. Il a été d'abord nécessaire de prendre pour terme de comparaison un bon kilogramme en laiton. A cet effet, on a eu recours à l'un des kilogrammes dorés que possède le Conservatoire, et qui sont destinés aux échanges internationaux; c'est celui qui portait le numéro 1, et dont la valeur dans le vide, comparée à celle du kilogramme prototype en platine des Archives, était de :

$1^{k},000\,002.$

On a admis qu'eu égard à la nature des opérations, toutes les comparaisons de poids seraient faites par rapport à ce kilogramme en laiton, sans faire intervenir aucune correction relative à l'influence de la température, tous les kilogrammes-étalons des bureaux étant exclusivement du même métal et d'un même volume réglementaire.

On a étalonné, par rapport à ce kilogramme type, vingt kilogrammes distincts, à l'aide desquels, en tenant compte des différences constatées, en plus ou en moins, on a pu constituer des séries exactes de 2, de 5, de 10 et de 20 kilogrammes, à l'aide desquelles on a étalonné, à diverses reprises, les poids types de 10 et de 20 kilogrammes nécessaires soit aux vérifications de poids, soit aux vérifications des mesures de capacité, ainsi qu'il sera indiqué ci-après.

Tous les poids seraient ainsi dérivés du même type n° 1, en laiton doré, dont la valeur avait été déterminée une fois pour toutes, et qui a été réservé intact aussitôt la préparation des vingt premiers kilogrammes.

Les étalons destinés à la vérification des poids ont été d'ailleurs conservés dans un bureau spécial, indépendamment de ceux destinés à la vérification des mesures de capacité.

Observations sur la vérification des mesures de capacité.

La vérification des mesures de capacité a exigé un plus grand nombre d'opérations préliminaires, par suite de la non-existence d'un étalon parfaitement déterminé.

Lors de l'établissement du système métrique, le litre a été dérivé du mètre, et le kilogramme prototype des archives a été obtenu au moyen d'opérations exigeant la connaissance préalable du mètre et du litre.

Depuis cette première opération, le kilogramme est au contraire devenu la base à l'aide de laquelle toutes les mesures de capacité ont été construites.

En particulier le litre, dont la capacité doit contenir, à la température de 0°, un kilogramme d'eau maintenue à son maximum de densité, a été considéré dans la pratique comme la troisième unité, et depuis l'établissement du premier kilogramme tous les litres étalons et tous ses multiples et ses sous-multiples ont été vérifiés au moyen de la pesée directe de l'eau distillée qu'on y pouvait introduire. Cette pesée, telle qu'elle peut être effectuée en réalité, entraîne certaines difficultés et de nombreuses corrections qu'il est indispensable de rappeler :

1° Il faut que l'eau soit parfaitement pure, et à cet effet celle qui a été employée dans les opérations dont nous avons à rendre compte a été distillée deux fois dans les conditions spéciales que nous indiquerons ci-après.

2° Il est indispensable que le vase soit bien rempli et que l'eau ne dépasse le bord sur aucun point. Le seul moyen de satisfaire à cette condition consiste à recouvrir le vase avec un disque en verre parfaitement dressé, dont la transparence soit encore suffisante pour que l'on puisse s'assurer qu'il n'existe aucune bulle d'air à la surface du liquide.

L'expérience nous a fait voir que chaque vérification devait être faite avec le verre spécialement affecté à la mesure. On s'exposerait à des erreurs appréciables en se servant d'un verre au lieu d'un autre, et même en le retournant.

3° La mesure en vérification n'est pas à la température de la glace fondante au moment de la pesée. Sa capacité étant augmentée par suite de l'élévation de la température, elle contient en réalité trop d'eau au moment de la pesée, et il est nécessaire de faire subir au résultat de cette pesée une première correction pour cette cause.

4° L'eau contenue dans la mesure n'est pas à son maximum de densité, et il est également nécessaire de faire subir, à ce

nouveau point de vue, une seconde correction, en sens contraire, sur le résultat des lectures.

5° Dans l'impossibilité de faire toutes les pesées dans le vide, il est nécessaire de tenir compte de la perte de poids dans l'air de l'eau contenue dans la mesure, et des poids à l'aide desquels le poids de cette eau est estimée.

Nous ne parlons pas de la perte de poids dans l'air, pour la mesure elle-même et pour son disque, cette perte étant la même dans les deux pesées, successivement faites, de la mesure pleine d'eau et de la mesure vide.

6° Enfin il est indispensable d'employer dans ces opérations délicates des balances assez sensibles et des poids parfaitement étalonnés.

Jusqu'au moment où nos opérations ont commencé, on s'était servi pour toutes les corrections relatives aux mesures de capacité d'une table manuscrite, établie à l'ancien bureau des prototypes du Ministre de l'intérieur et remise au Conservatoire en 1849, en même temps que tous les instruments conservés jusqu'alors dans ce bureau.

Cette table, désignée sous le nom de table de Coriolis, avait été nécessairement calculée à l'aide des données scientifiques de l'époque de sa rédaction.

Depuis lors, de nouvelles données, plus précises assurément, ont remplacé les anciennes.

M. Despretz a déterminé d'une manière plus exacte la température du maximum de densité de l'eau, et par suite de ces déterminations le poids du litre d'eau, aux différentes températures, a subi des modifications qui ont été plus récemment corroborées par les expériences de M. Rossetti.

Les nombres de M. Regnault, pour le coefficient de dilatation de l'air et la force élastique de la vapeur hygrométrique, ont aussi apporté des modifications dans les éléments de la correction à faire.

Pour ces différentes causes, la table, dite de Coriolis, a dû être calculée à nouveau, et nous aurons à faire connaître celle par laquelle on a remplacé la table primitive.

Quant aux poids qui ont servi aux pesées, ils ont été, de temps en temps, comparés aux poids-étalons conservés dans l'atelier

des balances, de manière que toutes les vérifications des mesures présentassent entre elles une parfaite concordance.

Nous donnerons des indications suffisantes sur le détail des opérations, dans la partie de ce rapport qui sera exclusivement consacrée à chaque genre de vérification.

Les bureaux de vérification étant très-inégalement dotés sous le rapport du nombre des mesures de capacité qui leur ont été attribuées, la Commission a dû se préoccuper de leur donner à tous un litre, un décalitre, un décilitre et un centilitre. Les autres mesures n'ont été renvoyées qu'à ceux des bureaux qui les possédaient précédemment.

Il en résulte une inégalité moindre, mais encore regrettable cependant, entre le nombre des étalons affectés à chaque bureau. Cette circonstance a réduit à 1 974 au lieu de 4 070, le nombre des vérifications de mesures que la Commission à eu à faire exécuter.

Table de correction pour les mesures de capacité.

Nous avons indiqué les diverses raisons qui obligent, dans la vérification des mesures de capacité, à modifier le poids qui doit, suivant les circonstances, faire équilibre à celui d'un litre d'eau.

Il nous reste à faire connaître les bases de cette correction.

Soient P le poids en kilogrammes, dans l'air, d'une mesure en cuivre exactement conforme, sous le rapport de sa capacité interne, à la définition du litre, P' le poids, également dans l'air, de cette même mesure remplie très-exactement d'eau distillée à la température t° ;

Si nous désignons par V la capacité en litres de la mesure à cette température, par D_t le poids du litre d'eau distillée, également à t degrés, par d_t enfin, celui d'un égal volume d'air atmosphérique au moment des deux pesées, on aura :

$$P' - P = V\ (D_t - d_t).$$

Mais il faut, en outre, tenir compte de la perte de poids dans l'air du kilogramme en cuivre avec lequel la pesée a été faite. La densité du cuivre étant 8,395, le kilogramme en cuivre a pour

volume à 0°, $\frac{1}{8,935}$, ou $\frac{V}{8,395}$ à la température t; la perte correspondante de poids dans l'air sera donc $\frac{V\, d_t}{8,395}$, et la formule deviendra, avec cette nouvelle correction :

$$P' - P - \frac{V\, d_t}{8,395} = V\,(Dt - dt);$$

ou

$$P' - P = V\left[D_t - d_t\left(1 - \frac{1}{8,395}\right)\right].$$

Cherchons maintenant le volume V et les valeurs de D_t et d_t.

La capacité V du litre en laiton porté à la température t est $1 + 3\,kt$, si l'on désigne par k le coefficient de dilatation linéaire du cuivre et par conséquent par $3\,k$ son coefficient de dilatation cubique. On pourra donc remplacer V par le facteur

$$(1 + 3\,kt).$$

La densité D_t de l'eau à la température t est donnée directement par la table de M. Despretz.

Quant au poids d' du litre d'air sec à la pression F' et à la température t, il serait donné par la relation

$$d' = \frac{0^k,001293\ F'}{(1 + at) \times 0,760};$$

la pression F' étant exprimée en millimètres de mercure, α étant le coefficient de dilatation 0,00367 de cet air, tel qu'il a été déterminé par M. Regnault, et 0^k,001293 étant également le poids du litre d'air, déterminé par ce physicien.

Si F est la pression intérieure au moment des pesées, et si f est la tension de la vapeur contenue dans l'air au même moment, la pression F' de l'air sec est $F' = F - f$, et le poids d' du litre d'air sec sera

$$d' = \frac{0,001293}{0,760 \times (1 + \alpha t)}\,(F - f).$$

Le poids correspondant d'' du litre de vapeur à la tension f et

à la température t, étant les 5/8 de celui de l'air sec dans les mêmes conditions, on aura de même :

$$d'' = \frac{0,001293}{0,760 \times (1+\alpha t)} \times \frac{5}{8} f;$$

et par suite :

$$d = d' + d'' = \frac{0,001293}{0,760 \times (1+\alpha t)} \left(F - f + \frac{5}{8} f\right)$$

$$= \frac{0,001\,293}{0,760 + (1 + \alpha t)} \left(F - \frac{3}{8} f\right).$$

En transportant ces différentes valeurs dans la formule primitive, on trouvera enfin :

$$P' - P = (1 + 3kt)\left[D_t - \frac{0,001\,293}{0,760\,(1 + \alpha t)} \left(F - \frac{3}{8} f\right)\left(1 - \frac{1}{8,395}\right]\right.$$

C'est cette formule qui nous a servi à établir la table qui, dans dans les pesées relatives à la vérification des mesures de capacité, doit tenir compte de la dilatation de ces mesures, de celle de l'eau et de toutes les pertes de poids dans l'air.

Nous prendrons d'ailleurs, pour la valeur du coefficient k de dilatation du laiton, pour chacun des degrés du thermomètre centigrade :

$$k = 0,000\,018\,75.$$

Application à un exemple.

Comme application de cette formule, nous ferons ici le calcul de la correction $P' - P$ pour le cas particulier où $t = 15°$, $F = 760$, en supposant que l'hygromètre de Saussure marque 72.

La tension de la vapeur saturée étant alors $0^m,012\,699$ et la fraction de saturation étant, pour le degré 72 de l'hygromètre, représentée par 49,82 : 100, nous aurons pour la tension f correspondante :

$$f = \frac{49,82}{100} \times 0^m,012\,699 = 0^m,006\,326\,642.$$

D'où l'on déduit $P' - P =$

$$(1 + 45 \times 0,00001875)\left[0,999125 - \frac{0,001293}{0,76(1 + 15 \times 0,00367)}\left(0,76 - \frac{3}{8}\,0,006326642\right)\,0,8808814\right]$$

$$= 1,00084375\left[0,999125 - \frac{0,001296 \times 0,667379972878}{0,801838}\right] = 0^{k},998894.$$

Les valeurs de P′ — P ont été calculées, comme dans l'exemple précédent, pour toutes les circonstances qui pourraient se présenter dans le cours de la vérification des étalons, et l'on a dressé une table de toutes les corrections à effectuer ainsi pour chaque grandeur de mesure.

Cette table, qui a dû remplacer la table dite de Coriolis, a été complétement transcrite à la suite de ce rapport, et il nous a paru nécessaire, au point de vue de toutes les vérifications antérieures, d'accompagner ce document de la table calculée par Coriolis et qui n'a été, à notre connaissance, publiée dans aucun recueil.

Nous avons fait connaître les causes des différences qui doivent exister entre les deux tables; elles sont dues aux changements des divers coefficients admis par la science, conformément aux travaux les plus récents des physiciens.

Bien que les différences qui en résultent ne soient jamais très-considérables, leur omission aurait entaché les opérations nouvelles d'erreurs regrettables et d'un ordre très-comparable à celui des tolérances qui vont être déterminées.

III. — DEGRÉ DE PRÉCISION DES OPÉRATIONS.

Aucune décision administrative n'avait précédemment déterminé le degré de précision que doivent présenter les étalons des bureaux. Chacun de ces étalons avait fait, au fur et à mesure des besoins et de son envoi dans un bureau, l'objet d'une observation d'identité, par rapport aux étalons conservés dans le bureau des prototypes.

Pour l'opération d'ensemble qu'il s'agissait d'effectuer en 1867, il a paru indispensable de régler ce degré de précision pour chacun des étalons. Le procès-verbal de la séance du 27 octobre 1866 contient l'indication des bases qu'il semblait conve-

nable d'adopter à cet égard, et que Votre Excellence a bien voulu sanctionner, quant aux opérations actuelles, par sa décision du 26 novembre 1866.

Le tableau suivant contient l'indication de toutes les règles relatives à ce degré de précision : elles sont basées, avec une grande sévérité relative, sur le degré de tolérance que les vérificateurs peuvent accepter lors de leur examen des mesures commerciales.

Tableau des tolérances à admettre dans la vérification des étalons des bureaux.

	TOLÉRANCE des mesures du commerce.		INSTRUMENTS proposés pour la vérification.	SENSIBILITÉ effective des instruments.		RAPPORTS entre les colonnes 3 et 6.	TOLÉRANCES proportionnelles proposées pour les étalons.	RAPPORTS entre les tolérances du commerce et celles des étalons.
	Absolue.	Proportionnelle.		Absolue.	Proportionnelle.			
MESURES DE LONGUEUR.	mill.			mill.				
Mètre..................	0.200	0.0002	P. Comparateur de Gambey.	0.01	0.000010	20	0.00002	10.
			Cathétomètre de Perreaux.	0.01	0.000014	14		7.
POIDS.	gr.			gr.				
Kilogramme...........	0.15	0.000150	Balance de Hempel......	0.002	0.000002	75	0.00002	7,5
Double kilogramme....	0.25	0.000125	G. Balance de Deleuil....	0.002	0.000001	125		6,2
Cinq kilogrammes......	0.50	0.000100	G. Balance de Deleüil....	0.004	0.0000008	125		5,0
Dix kilogrammes.......	0.80	0.000080	G. Balance américaine....	0.010	0.000001	80		4,0
Vingt kilogrammes.....	1.50	0.000075	Balance de Kutsch.......	0.200	0.000001	75		3,7
MESURES DE CAPACITÉ.	gr.			gr.				
Centilitre..............	0.20	0.0200	P. Balance américaine....	0.002	0.00020	100	0.0002	100.
Double centilitre.......	0.30	0.0150	P. Balance américaine....	0.002	0.00010	150		75.
Demi-décilitre..........	0.40	0.0080	P. Balance américaine....	0.004	0.00008	100		40.
Décilitre...............	0.60	0.0060	P. Balance Deleuil.......	0.010	0.00010	60		30.
Double décilitre........	1.00	0.0050	P. Balance Deleuil.......	0 010	0.00005	100		25.
Demi-litre............	1.50	0.0030	P. Balance Deleuil.......	0.020	0.00004	75		15.
Litre..................	2.00	0.0020	P. Balance Deleuil.......	0.020	0.00002	100		10.
Double litre...........	3.00	0.0015	Balance Parent..........	0.100	0.00005	30		7,5
Demi-décalitre.........	10.00	0.0020	Balance Parent..........	0.100	0.00002	100		10.
Décalitre..............	20.00	0.0020	Balance Parent..........	0.200	0.00002	100		10.
Double décalitre........	40.00	0.0020	Balance Parent..........	0.400	0.00002	100		10.

Paris, le 26 octobre 1866.

Le Président de la Commission,

Signé : GÉNÉRAL MORIN.

Afin de répondre plus sûrement de l'exactitude des opérations, la Commission a pensé qu'il fallait réduire encore, dans le travail courant, chacune de ces tolérances à la moitié de sa valeur officielle, et toutes les instructions données aux vérificateurs ont été basées sur cette condition.

Il est à désirer que les mêmes bases soient suivies dans l'ajustage des nouveaux étalons qui pourront être destinés soit à de nouveaux bureaux, soit, comme complément, à des bureaux déjà existants, mais encore incomplétement pourvus.

IV. SUBDIVISION DU TRAVAIL.

Les trois genres d'opérations à exécuter étant complétement distincts, il a paru convenable d'en confier l'exécution à trois services différents, et par suite de l'achèvement, au Conservatoire, de nouvelles constructions dans lesquelles aucune installation n'avait encore été faite, on a pu satisfaire à cette condition méthodique.

La commission a proposé et vous avez autorisé, monsieur le Ministre, la création de ces trois services distincts, à la tête de chacun desquels il y aurait un vérificateur qui devrait être assisté par plusieurs aides-vérificateurs[1].

Le bureau des mètres avait besoin d'un personnel moins nombreux ; l'aide-vérificateur qui y a été attaché a pu en être distrait à plusieurs reprises pour aider au travail des poids.

Dans le bureau des poids, il y a eu constamment un vérificateur et deux aides.

Dans le bureau des mesures de capacité, il a fallu avoir recours au même nombre de personnes.

Toutes les opérations d'administration et de comptabilité ont, du reste, été confiées à un agent supérieur, M. le commandant

1. Le personnel qui a effectué toutes les opérations de la vérification a été composé ainsi qu'il suit :

Bureau des mètres : Vérificateur, M. Bouchard ; vérificateur-adjoint, M. Paré.

Bureau des poids : Vérificateur, M. Urbain ; vérificateurs-adjoints, M. Gustave Tresca et M. Devilliers.

Bureau des mesures : Vérificateur, M. Ribou ; vérificateur-adjoint, M. Emonin.

M. Urbain a été, après l'étalonnage des poids principaux, presque constamment occupé à la vérification des mesures de capacité.

d'artillerie Piedfort, qui avait directement sous ses ordres un commis de comptabilité et deux garçons de service.

Bien que le Conservatoire fût en possession d'un matériel pouvant en partie servir aux vérifications, il a fallu, pour une opération aussi considérable, le compléter par de nouvelles acquisitions, dont la commission a dressé la liste dans sa séance du 26 octobre. Dans un intérêt d'avenir nous ferons connaître, pour chaque nature de vérification, tous les instruments et appareils qui y ont été affectés.

Comme mesure générale, il a été décidé qu'au fur et à mesure de leur arrivée les envois seraient déballés, et qu'aussitôt leur reconnaissance faite, un numéro commun leur serait affecté pour chacun des bureaux expéditeurs; les objets qu'ils comprenaient devaient ensuite être immédiatement répartis entre les trois ateliers de vérification, où ils continueraient à être affectés de leur numéro d'entrée jusqu'à la sortie.

Les caisses d'emballage devaient être remisées dans un local spécial où elles seraient reprises au départ.

Deux autres locaux ont du être affectés séparément, le premier à la préparation journalière de l'eau distillée, le second aux réparations de poids qu'il y aurait avantage à faire exécuter en régie, au Conservatoire même.

Enfin, MM. Collot frères, qui devaient être chargés de la réparation des mesures, ont eu à leur disposition un local dans lequel ils ont pu placer quelques balances, dont les opérations préliminaires exigeraient l'emploi pendant toute la durée des opérations.

V. Réception et distribution des envois.

Des instructions relatives à l'emballage en caisses uniformes et à l'expédition des étalons avaient été adressées par les soins de l'administration centrale à tous les préfets.

Chacun des envois devait être adressé directement au Conservatoire impérial des Arts et Métiers, par la voie la plus directe, en trois caisses distinctes, avec lettres de voiture qui ont été acquittées au moment de l'arrivée.

Le déballage en était fait sous les yeux mêmes de l'un des vérificateurs. L'état des caisses et de leur contenu était consigné

sur un bulletin spécial portant l'indication du numéro du bureau, avec une appréciation sommaire sur l'état de conservation des mesures et sur l'exécution plus ou moins exacte des prescriptions administratives en ce qui concerne l'envoi des étalons. Ce même bulletin devait contenir en même temps toutes les observations relatives au remplacement présumé ou à la réparation des mesures, et il était préparé de telle façon que toutes les modifications ultérieures devaient également y être indiquées, jusques et y compris les opérations de réexpédition.

L'emploi de ces feuilles nous a été d'un grand secours au point de vue de la complète régularité avec laquelle toutes nos opérations, si nombreuses et si minutieuses, ont été effectuées.

Un modèle de la feuille qui a ainsi été employée à constater toutes les opérations d'un même bureau se trouve annexé à ce rapport.

La subdivision de chaque envoi avait lieu immédiatement; le mètre, les poids et les mesures de capacité, étaient placés sur les étagères établies respectivement dans les trois services de vérification; les caisses et les fournitures d'emballage dans une cave spéciale où elles devaient être conservées jusqu'à la réexpédition.

VI. Bureau d'étalonnage des mètres.

Matériel. — Le matériel du bureau de l'étalonnage des mètres est le plus simple de tous.

Il se compose : 1° d'un comparateur à touches de Gambey, qui a dû être monté sur un bâti spécial et qui permet d'apprécier, à l'aide d'une vis micrométrique, le cinquantième de millimètre.

L'autre extrémité du mètre en vérification devait être palpée par un levier à touche, dont le grand bras porte un repère gradué à son extrémité, et à l'aide duquel on s'assure de la position exacte de la mesure.

Les mètres à vérifier étant d'épaisseurs très-différentes, on a préparé une série de lames de papier d'épaisseurs graduées, et destinées à faire porter les contacts exactement au milieu de l'épaisseur et de la largeur de chaque mètre.

La température était accusée au moyen d'un petit thermomè-

tre métallique, très-sensible, que l'on transportait successivement sur l'étalon et sur la mesure pendant que les lectures s'effectuaient.

Ce comparateur devait servir exclusivement pour la vérification provisoire et pour la vérification définitive de la longueur totale, suivant l'axe, de tous les mètres-étalons qui sont exclusivement des mètres à bouts.

2° D'un cathétomètre vertical à deux lunettes, commandé spécialement à M. Perreaux, et destiné à viser respectivement avec ces lunettes les divisions 20 et 90 de chacun des mètres en vérification, comparés à l'étalon de Gambey divisé sur palladium.

3° D'un support vertical destiné à recevoir les deux mètres à comparer au moyen du cathétomètre. Ce support, construit au Conservatoire, porte au-dessous du logement que doivent occuper les mètres en comparaison une vis de réglage, au moyen de laquelle on met en concordance, sous la visée de la même lunette, les divisions 90 des deux règles.

Les lectures de la division 20 se font au moyen de la seconde lunette, et leur différence est accusée au moyen de la vis micrométrique du cathétomètre, qui estime le centième de millimètre.

Étalons mis en service. — Deux étalons seulement ont été mis à la disposition du bureau de vérification des mètres.

L'un est un mètre en cuivre de Lenoir, construit au moment même de l'adoption du système métrique; ce mètre, qui a une largeur de $0^{m},030$ et une épaisseur de 0,004, est divisé en centimètres sur toute sa longueur, et en millimètres sur le premier décimètre seulement; mais il n'a servi dans les opérations que comme mètre à bout, et a été soumis, préalablement, à une vérification spéciale, qui établit sa valeur par rapport au mètre prototype en platine des Archives, qui est la seule mesure à laquelle toutes les autres doivent se rapporter.

Le mètre prototype en platine du Conservatoire, construit à la même époque et également bien conservé, a été comparé à celui des Archives par une commission nommée par M. le Ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics, et qui a constaté, en 1864, que la valeur de ce mètre était, à la température de 0° : $1^{m},00000329$.

L'étalon de Lenoir, qui devait servir aux opérations, a été comparé par M. Tresca au mètre en platine du Conservatoire, ainsi qu'il suit :

Bien que le mètre en platine du Conservatoire soit réservé pour toutes les comparaisons de précision, il nous a paru nécessaire de le mettre en rapport, à des jours différents et par des températures différentes, avec le mètre de Lenoir qui devait servir d'étalon dans l'ajustage des mètres des bureaux.

Cette comparaison a été faite à plusieurs reprises, tant sur le comparateur à levier de Gambey que sur le comparateur dit de Silbermann, construit par Brunner.

Voici d'abord le résultat de toutes les lectures :

DATES des COMPARAISONS.	DÉSIGNATION du COMPARATEUR.	TEMPÉRATURES OBSERVÉES.	RÉSULTATS déduits DES COMPARAISONS.	RÉSULTATS corrigés DE L'INFLUENCE DE LA TEMPÉRATURE
9 octobre 1866.......	De Gambey..........	17°.8	L = P + 0ᵐ.000090	L = P − 0ᵐ.000088
1 décembre 1866.....	De Gambey..........	14.5	L = P + 0.0000641	L = P − 0.0000809
7 décembre 1866......	De Gambey..........	19.0	L = P + 0.0000969	L = P − 0.0000931
8 décembre 1866......	De Gambey..........	17.85	L = P + 0.0000911	L = P − 0 0000874
11 décembre 1866......	De Silbermann.......	10.0	L = P + 0.0000097	L = P − 0.0000903
11 décembre 1866......	De Silbermann.......	0.0	L = P − 0.00008466	L = P − 0.00008466
12 décembre 1866......	De Gambey..........	15.20	L = P + 0.0000677	L = P − 0.000088
14 octobre 1867.......	De Silbermann.......	12.0	L = P + 0.0000313	L = P − 0.000088

La comparaison la plus probante est la deuxième du 11 décembre, parce qu'elle a été faite sur le comparateur de Silbermann à la température de la glace fondante, et qu'elle ne donne lieu à aucune correction de température.

On a ainsi, en désignant par L le mètre de Lenoir et par P le mètre prototype en platine du Conservatoire :

$$L = P - 0^{m},00008466.$$

Il résulte d'ailleurs du procès-verbal officiel, du 5 mars 1864, que $P = A + 0,000\,003\,29$. On tire de cette relation, pour la valeur du mètre de Lenoir, à la température de 0°, par rapport au mètre des Archives, que nous désignerons par A :

$$L = A - 0^{m},000\,081\,37.$$

Les autres comparaisons viennent toutes corroborer ce résultat.

Si, à défaut de la connaissance des coefficients de dilatation des deux règles, on forme un tableau graphique des résultats directs des diverses comparaisons de 1866, en prenant les températures pour abscises et les différences de longueur comme ordonnées, on trouve que tous les points ainsi représentés se trouvent très-sensiblement sur une même ligne droite qui démontre :

1° Que toutes les opérations sont concordantes;

2° Que les deux coefficients de dilatation diffèrent sensiblement de 0,00001 par degré;

3° Que les deux mètres seraient absolument égaux à la température de 8°,5.

C'est à l'aide de la seconde de ces indications que nous avons pu corriger, d'une manière précise, les différentes comparaisons de l'influence de la température, et l'on remarquera qu'après cette correction elles concordent toutes entre elles à moins d'un centième de millimètre près, alors que le comparateur de Gambey permet d'évaluer seulement le cinquantième de millimètre.

La comparaison du 14 octobre 1867 n'a d'importance que comme vérification faite vers l'époque de la clôture des opérations d'étalonnage sur les mètres.

Le chiffre $0^{mm},0814$ a été considéré comme définitif et, à la suite des vérifications qui précèdent, le service de la vérification des mètres a reçu pour instruction de régler tous les mètres-étalons des bureaux à une longueur de 82 millièmes de milli-

mètre plus grande que celle de l'étalon de Lenoir, quelle que soit la température, cependant observée, à laquelle les lectures seraient faites.

Le thermomètre métallique qui la constatait ne devait plus servir dès lors qu'à s'assurer de l'identité des températures entre les deux mètres en comparaison.

Le deuxième étalon confié au bureau de vérification est celui de Gambey, qui ne devait servir que pour l'appréciation de l'exactitude des divisions. Il a été choisi de préférence en raison de la confiance que les savants accordent unanimement aux divisions de ce constructeur.

Ce mètre a été comparé le 9 octobre 1866 par M. Tresca, avec le mètre prototype du Conservatoire, sur le comparateur à levier de Gambey. A la température de 17°,8, la lecture a indiqué une différence de $0^{m},000226$, mais il est nécessaire de la corriger de la différence de dilatation entre le platine et le cuivre ; la différence de dilatation par degré étant de $0^{m},0000103$ entre les deux métaux, elle se trouve mesurée, dans les conditions de l'expérience, par $0^{m},0000103 \times 17^{\circ},8 = 0^{m},000183$.

En désignant la longueur du mètre de Gambey à 0° par G, et celle du prototype en platine par P, on a donc :

$$\begin{aligned} G &= P + 0^{m},000\,226 - 0^{m},000\,183 \\ &= P + 0^{m},000\,043. \end{aligned}$$

Nous avons déjà vu que la valeur de P est à 0°

$$P = A + 0,000\,003\,29$$

et par suite de ces deux relations,

$$G = A + 0^{m},000\,046.$$

Le mètre de Gambey est donc, autant qu'on en peut juger par la seule comparaison faite sur le comparateur à levier, trop long de cinq cent-millièmes de mètre, et cette différence est assez faible pour n'avoir aucune importance dans l'appréciation des divisions. Il n'en a pas été tenu compte dans les lectures au cathétomètre.

Cet étalon de Gambey a d'ailleurs été placé une fois pour toutes dans le logement de son support, et il n'a dû être touché pour aucune cause pendant toute la durée des opérations.

Personnel. — Un vérificateur et un aide ont suffi pour la vérification et l'étalonnage des mètres. Ils ont pu même prêter, à certains intervalles, leur concours à la vérification des poids et à celle des mesures de capacité.

Ordre et nature des opérations. — Aussitôt leur arrivée, les mètres et leurs boîtes étaient estampillés du numéro d'ordre affecté au bureau d'où ils provenaient.

La boîte était visitée, et, en cas de nécessité, envoyée en réparation chez M. Deleuil.

Une première visite des mètres indiquait ceux qui devaient être remplacés, à savoir tous les mètres en fer et tous ceux qui, bien qu'en cuivre, étaient trop détériorés ou trop minces pour offrir les garanties nécessaires d'un bon service.

Tous les autres étaient soumis à une première vérification destinée à faire connaître la différence, en plus ou en moins, par rapport à la longueur vraie du mètre en cuivre qui aurait été exactement conforme à la température de 0° avec celle du mètre prototype en platine des Archives.

Les mètres trop longs étaient remis à M. Deleuil avec l'indication de leur valeur pour être affranchis, à l'aide d'une machine spéciale qu'il possède, et qui lui a toujours permis de faire avec exactitude le retranchement demandé.

L'affranchissement était opéré du côté de la division 100, toutes les fois que l'autre extrémité était irréprochable.

Dans le cas contraire, il était opéré sur les deux bouts avec le soin de n'affecter le bout du zéro, généralement divisé en millimètres dans le premier décimètre, que de la moindre quantité possible. Cette réduction ne s'est jamais élevée à une fraction de millimètre assez grande pour affecter, d'une manière appréciable à l'œil, la longueur du premier millimètre.

Les mètres reconnus trop courts et cependant en état de servir ont subi une opération plus délicate. On a enlevé, sur la machine de M. Deleuil, l'une au moins de leurs extrémités, sur une longueur de cinq millimètres, quelquefois même les deux extrémités. On les a ensuite garnis de nouveaux bouts en cuivre, parfaitement ajustés et repérés de manière à avoir des rives bien franches et bien nettement coupées.

La commission n'a adopté toutefois ce mode de réparation

qu'après un examen minutieux des premières livraisons de mètres ainsi modifiés et l'avoir reconnu irréprochable.

Les mètres reconnus immédiatement bons ont été conservés pour être repolis avant la dernière vérification à laquelle ils ont tous été soumis.

Les mètres hors de service ont été remplacés par M. Deleuil par des mètres neufs ayant invariablement les dimensions suivantes : largeur $0^{m},030$, épaisseur $0^{m},007$.

Au retour de la réparation, chaque mètre a été soumis, de l façon déjà indiquée, à la seconde vérification, dont tous les éléments ont été inscrits sur un carnet spécial, et admis seulement lorsque la longueur vraie était comprise dans les limites de la tolérance de deux centièmes de millimètre.

Il était alors procédé à la vérification de la division dont le résultat a été inscrit dans chaque boîte sous la forme d'une étiquette libellée comme suit :

La distance entre le 20e et le 90e cent. =

Le degré d'exactitude ainsi indiqué permettrait au besoin de faire subir aux longueurs mesurées par la division la correction nécessaire pour les mesurages qui exigeraient toute la précision des opérations scientifiques.

La dernière vérification faite, chaque mètre a été poli et placé dans sa boîte, sur laquelle on a appliqué une étiquette uniforme, en cuivre, gravée du nom du bureau auquel il était expédié.

Statistique des opérations du bureau des mètres. — On n'a reçu des bureaux que 364 mètres, parmi lesquels 19, dont 8 en fer, ont dû être considérés comme étant hors de service. Il en a été réexpédié 368, dans les conditions suivantes :

Sans réparation autre que le polissage	56
Après réparation et vérification	289
Neufs ou restaurés à neuf, en remplacement de mètres manquants ou réformés.	23
Total	368

Ce total est inférieur de deux mètres au nombre des bureaux, d'une part parce que le bureau de Puget-Teniers (n° 320), ayant été pourvu de ses étalons pendant le cours du travail de la commission, n'a pas envoyé son mètre à la vérification, et d'autre part, parce que le bureau de Roubaix, de création nouvelle, n'a reçu du service des poids et mesures que les étalons de poids et ceux des mesures de capacité.

Parmi les 328 boîtes qui ont été reçues, 66 étaient en assez mauvais état pour être réformées; 262 ont été réparées, et 106 boîtes neuves ont dû être fournies aux bureaux qui n'en possédaient pas encore.

Les 19 mètres rebutés, dont 8 en fer, restent en magasin, ainsi que les 66 boîtes, en partie brisées, qui ne représentent absolument aucune valeur.

368 bureaux de l'intérieur de la France se trouvent maintenant pourvus de mètres-étalons uniformes et bien vérifiés; le mètre de Puget est en bon état, mais n'a pas été présenté à la vérification; le bureau de Roubaix n'a pas de mètre.

Les bureaux hors France n'ont pas été soumis à la vérification générale, mais les étalons de ces bureaux sont tous d'exécution récente et sans doute en bon état de conservation.

VII. — BUREAU D'ÉTALONNAGE DES POIDS.

Matériel. — Le grand nombre des opérations à effectuer dans ce bureau exigeait l'emploi d'un matériel d'autant plus considérable que, pour pouvoir compter d'une manière constante sur le bon état de conservation des balances, il a paru nécessaire d'affecter chacune d'elles à l'étalonnage exclusif des mêmes poids.

1° Une série de calibres en bois exécutés au Conservatoire, et destinés à reconnaître si les divers poids reçus des bureaux pourraient être ajustés dans les dimensions réglementaires.

2° Deux balances communes, destinées à l'ajustage approché des poids, avant leur étalonnage définitif.

3° Une balance de Hempel, exclusivement réservée à la pesée des kilogrammes. Cette balance a fait un très-bon service, et l'aiguille horizontale dont elle est munie a beaucoup aidé à la célérité des opérations.

4° Une balance de Deleuil, réservée pour les poids de deux kilogrammes. Cette balance, qui appartenait aux collections du Conservatoire, a dû subir, entre les mains de M. Deleuil fils, de sérieuses modifications, avant de répondre aux conditions qui étaient imposées dans ce travail.

5° Une balance de Bache et Saxton, donnée au Conservatoire par le congrès des États-Unis d'Amérique en 1852, et qui doit être regardée comme un des meilleurs instruments connus, pour les pesées de 10 et de 20 kilogrammes.

Elle a dû être ajustée tout d'abord sous le rapport de sa sensibilité, et a été exclusivement réservée à l'étalonnage des poids de 10 kilogrammes.

Ce n'est qu'exceptionnellement, et seulement pour l'ajustage des étalons qui devaient servir de types dans ce bureau et dans celui des mesures de capacité, qu'on l'a employée trois ou quatre fois à des pesées de 20 kilogrammes.

6° Une balance de Kutsh, provenant de l'ancien bureau des prototypes du ministère de l'Intérieur; elle a servi journellement aux pesées de 20 kilogrammes, mais elle demande une grande surveillance et n'est pas à beaucoup près, à l'égal des autres, un instrument de même précision.

7° Pinces et crochets garnis de peau, destinés à servir à la manœuvre des poids, aucun de ceux-ci ne devant jamais être touché à la main.

8° Douze séries de rondelles en cuivre des poids approximatifs de $0^g,1$ à 10 grammes, et de dimensions convenables pour entrer librement dans les poches ménagées sous les boutons des poids-étalons, aucun ajustage ne devant être fait qu'au moyen de ces rondelles.

9° Série de fils d'ajustage en cuivre des poids de $0^g,010$ et $0^g,002$, devant servir exclusivement à l'ajustage définitif des poids-étalons sur les balances de précision.

Ces fils ont été préparés au Conservatoire en les roulant en spirale sur une broche cylindrique ajustée à cet effet et en coupant ensuite toutes les spires enroulées, suivant une des génératrices de cette broche. Plusieurs de ces fils devant entrer dans l'étalonnage définitif de chaque poids, il était nécessaire de les obtenir avec une grande facilité, et leur exactitude devait ap-

porter, sous le rapport de la rapidité des opérations, une facilité très-grande dans l'ajustage définitif.

10° Baromètre installé à poste fixe pour l'observation journalière de la pression extérieure.

Les indications du baromètre, sans être indispensables pour les corrections relatives à l'étalonnage des mesures de capacité, pourraient servir ultérieurement à vérifier, s'il était nécessaire, l'une quelconque des pesées qui ont été faites.

Étalons mis en service.—Tous les étalons de poids qui devaient servir à la vérification ont été déduits d'un kilogramme en cuivre de Gambey, désigné sous le nom d'étalon doré n° 1.

Une pesée faite avec les boîtes à vide avait donné pour sa valeur $1^k,000002$, par rapport au kilogramme des Archives, à la température de 0°, et dans le vide.

Il était nécessaire de prendre pour point de départ un étalon en cuivre, afin de ne pas avoir de correction de perte de poids dans l'air à calculer, et pour reconnaître si cet étalon doré n° 1 répondait bien à notre but. M. Tresca l'a comparé, dans l'air, avec le kilogramme P en platine du Conservatoire dont la valeur, par rapport au kilogramme des archives A, de même volume, est

$$P = A + 0^k,000\,000\,72,$$

suivant les conclusions du procès-verbal officiel, en date du 5 mars 1864.

Le kilogramme doré n° 1 a été pesé, à deux jours différents, sur la balance de Bianchi, réservée exclusivement aux pesées des kilogrammes dans les vérifications internationales.

Voici les résultats de ces pesées qui ont été faites, à l'avance, afin que le commencement des opérations courantes ne fût point retardé par la préparation des étalons.

DATES des PESÉES.	Valeurs du kilogramme doré n° 1		Températures.	PRESSION barométrique.
	par rapport au kilog. du Conservatoire.	par rapport au kilog. des Archives.		
10 avril 1866.	$P - 0^k.00008625$	$A - 0^k.00008553$	+ 13°	758mm
13 avril 1866.	$P - 0^k.00008500$	$A - 0^k.00008428$	+ 14°	762

Mais ces chiffres ne tiennent pas compte des pertes de poids dans l'air, qui ont été calculées en admettant que le degré de saturation hygrométrique était de 0,66.

Cette correction faite, en admettant une différence de volume de 70 centimètres cubes entre le kilogramme doré et le kilogramme de platine, on trouve respectivement pour la valeur du premier de ces kilogrammes, que nous désignerons par D :

$$D = A + 0{,}000\,002\,92$$
$$D = A + 0{,}000\,001\,18$$
$$\text{Moyenne...} \quad D = A + 8{,}000\,002\,05\,;$$

Ces pesées, faites avec le plus grand soin, sont venues justifier les résultats fournis par la pesée dans le vide.

Quant à l'évaluation de la différence du volume, elle résulte de ce que le kilogramme en platine a un volume mesuré de 49 centimètres cubes, et de ce que plusieurs déterminations de densité faites sur différents kilogrammes en cuivre ont conduit à un volume moyen de 110 centimètres cubes, qui correspond à une densité de 8,4.

L'étalon doré n° 1 était trop précieux pour qu'il fût possible de le plonger dans l'eau, dans le but de déterminer directement sa densité.

Les seuls étalons délivrés au bureau des poids consistaient en 20 poids de 1 kilogramme fournis, à l'avance, par MM. Collot frères, et qui sont restés au Conservatoire à la fin des vérifications.

Ces poids ont été étalonnés par M. Tresca sur la balance de M. Hempel, qui devait être exclusivement réservée à la vérification des étalons de 1 kilogramme.

Leurs valeurs sont les suivantes :

1.	1k. — 0k.000 003	7.	1k. — 0.000 003
2.	— 0.000 005	8.	— 0.000 006
3.	— 0.000 002	9.	— 0.002 000 1
4.	— 0.000 004	10.	— 0.000 002 2
5.	— 0.000 003 2	11.	+ 0k.000 007
6.	— 0.000 000 5	12.	— 0.000 003

13.	1k.	— 0.000 003	17.	1k.	— 0.000 001 7
14.		— 0.000 003 5	18.		— 0.000 002 5
15.		— 0.000 000 3	19.		— 0.000 004 2
16.		— 0.000 000 5	20.		— 0.000 001 3

Les 20 kilogrammes ainsi préparés, et que nous désignerons sous le nom d'étalons secondaires, n'étaient point destinés à servir habituellement. Ils ne devaient être employés qu'à former les étalons tertiaires de 1, 2, 5, 10 et 20 kilogrammes, nécessaires à l'exécution des opérations journalières, et comme tels ils n'ont été mis qu'entre les mains du vérificateur chargé de la direction du bureau des poids.

C'est aussi à l'aide des 20 étalons secondaires qu'ont été formés et vérifiés au besoin les étalons de service du bureau des mesures de capacité, et les types dont M. Collot s'est servi pour tous ses ajustages préparatoires.

Personnel. — Un vérificateur et deux aides-vérificateurs ont été attachés d'une manière permanente à ce bureau, qui a reçu en outre les soins du personnel des mètres dans les intervalles laissés libres entre les deux vérifications déjà signalées.

Ordre et nature des opérations. — Chaque poids, à son arrivée, était muni du numéro d'ordre du bureau d'envoi, au moyen d'une étiquette suspendue au bouton par une boucle de fil. Cette étiquette devait accompagner le poids dans toutes les opérations auxquelles il serait successivement soumis jusqu'à la réexpédition ; elle n'était enlevée que pendant les pesées.

Chacun des poids était d'abord soumis au contrôle du calibre; tous ceux qui étaient trop petits étaient rejetés; ceux qui étaient trop grands donnaient lieu à un examen préliminaire ayant pour objet de reconnaître si, après avoir été ramenés à la mesure, ils pourraient à l'aide d'une augmentation de surcharge dans la poche, ou par le changement du bouton, remplir toutes les conditions exigées.

Étaient également rejetés tous les poids dont la surface se trouvait trop maculée pour qu'il fût possible d'atteindre les défauts lorsqu'on les ramènerait, sur le tour, à la véritable dimension.

Ce premier triage étant fait, tous les poids conservés étaient remis à MM. Collot, qui étaient chargés de les réparer, de manière à ce qu'ils pussent être étalonnés.

Les poids de 1, 2, 5 et 10 kilogrammes étaient réparés au Conservatoire même, sous la direction de MM. Collot, avec leurs outils et par des ouvriers de leurs choix, sous la surveillance de M. le commandant Piedfort, qui réglait le compte des journées de travail réellement fournies.

Quelques poids de 20 kilogrammes étaient réparés dans les ateliers de MM. Collot, aux prix fixés par leur soumission.

Après leur réparation et leur réception, les poids, sans être ajustés, reprenaient leur place dans les diverses séries, pour être ensuite soumis aux opérations définitives de l'étalonnage.

Afin de ne pas fatiguer inutilement les balances, les poids étaient approchés de leur valeur, mais toujours par défaut, sur les balances accessoires, en introduisant dans la poche de chacun d'eux, après démontage du bouton, le nombre de rondelles de cuivre nécessaire.

Ce travail étant bien préparé, l'étalonnage définitif pourrait se faire exclusivement au moyen des fils de laiton, de poids déterminés, que l'on ajouterait à la surcharge dans les opérations finales, sans qu'il fût jamais nécessaire de retirer aucune partie de la surcharge primitive et, par conséquent, sans déplacer inutilement le poids.

Tous les étalonnages ont été faits par voie de double pesée. A cet effet, chaque matin, l'étalon tertiaire était placé sur le plateau droit de la balance, puis équilibré dans l'autre plateau par un kilogramme de service non ajusté. Quand l'équilibre était parfaitement établi, on enlevait l'étalon qui n'était plus nécessaire et on le remplaçait successivement par tous les poids en cours de vérification.

Toutes les pesées devaient être inscrites par les vérificateurs sur un carnet spécial à chaque balance, et auquel on pourrait, au besoin, se référer si par impossible on se trouvait, par une circonstance quelconque, en présence de quelque réclamation.

Beaucoup de poids-étalons manquaient de boîtes; celles qui existaient étaient toutes en mauvais état. La Commission a pensé que si les étalons n'étaient pas livrés aux bureaux de vérifica-

tion avec les moyens nécessaires à leur conservation, l'opération qu'elle faisait exécuter perdrait toute sa valeur.

Elle a, en conséquence, obtenu que toutes les boîtes seraient mises en meilleur état, et qu'il en serait fourni de nouvelles, dans une forme et dans des conditions de solidité qu'elle a étudiées.

En conséquence, tous les poids-étalons, après leur réparation ou leur remplacement et après leur étalonnage, ont été renfermés dans des boîtes uniformes portant le nom de chacun des bureaux.

Nous avons à faire connaître, sur ce point, un accident qui s'est présenté à la suite des premières mises en boîte, au moment où toute l'humidité résultant du collage n'avait pas encore disparu. Les poids placés, dans ces conditions, dans les boîtes fermées, et dont la surface était alors parfaitement lisse et brillante, se couvraient en quelques jours de taches blanches qui, examinées de plus près, étaient formées par la réunion de petits amas de même couleur, en saillie sur la surface du métal, dont l'aspect brillant était complétement altéré. Le zinc du laiton s'était oxydé de manière à donner lieu à une augmentation de poids qu'il importait d'éviter.

Les poids sur lesquels cette oxydation s'est produite ont été ajustés à nouveau; on a pris soin d'apporter à l'avenir un plus grand délai avant la mise en boîte, et l'emballage lui-même n'a eu lieu qu'après un nouveau délai, destiné à reconnaître qu'aucune altération n'avait eu lieu depuis la fermeture de la boîte.

Statistique des opérations du bureau des poids. — Les bureaux de poids et mesures étaient très-inégalement dotés sous le rapport des poids-étalons.

Ils ont envoyé :	345	kilogrammes.
—	346	double-kilogrammes.
—	369	cinq-kilogrammes.
—	369	dix-kilogrammes.
—	369	vingt-kilogrammes.

Les poids rebutés ont servi à en confectionner de nouveaux, en telle sorte que tous les changements ont été, au point de vue de la comptabilité, considérés comme de simples réparations.

Les étalons étaient jusqu'alors, dans la plupart des bureaux, exposés à l'action atmosphérique, 106 bureaux seulement possédant les boîtes de service nécessaires à leur conservation.

La Commission a dû considérer comme une obligation impérieuse de fournir, après l'autorisation qu'elle en a reçue, à tous les bureaux, des boîtes bien construites, sans lesquelles la conservation des étalons eût été absolument impossible.

Le tableau suivant fait connaître dans son ensemble le résultat des opérations.

DÉSIGNATION.	ENVOYÉS par les bureaux.	VÉRIFIÉS et refusés.	NEUFS ou fournis en remplacement.	EXPÉDIÉS aux bureaux.
Kilogrammes.......	345	247	123	370
Deux kilogrammes...	346	242	127	369
Cinq kilogrammes...	369	255	114	369
Dix kilogrammes....	369	250	119	369
Vingt kilogrammes. .	369	269	100	369
Boîtes............	106	88	281	369

Tous les bureaux de la France se trouvent ainsi fournis d'une collection complète d'étalons, renfermés dans une boîte spéciale, de solide construction, à l'exception du bureau de Roubaix, de création nouvelle, qui n'a d'autre étalon de poids que celui du kilogramme.

Dix-huit boîtes réformées et sans aucune valeur sont seules restées en magasin.

VIII. — BUREAU D'ÉTALONNAGE DES MESURES DE CAPACITÉ.

Matériel. — En ce qui concerne les poids, les étalons ne descendent pas au-dessous du kilogramme qui est le poids du litre d'eau, et il n'était pas nécessaire, par conséquent, de vérifier les sous-multiples du kilogramme.

Il n'en est pas de même pour les mesures de capacité, parmi lesquelles le centilitre a été placé dans la collection des étalons. De là, la nécessité d'un matériel différent et de balances plus petites.

Ce matériel était composé ainsi qu'il suit :

1° Une balance de Parent, destinée aux mesures du décalitre et du double décalitre.

Cette balance, très-médiocre, a dû être réparée et même appropriée à la destination que nous venons d'indiquer. On a changé sa colonne et ses plateaux pour avoir une plus grande stabilité et pour rendre le placement des mesures plus facile.

2° Une balance de Deleuil, convenablement établie pour recevoir le double litre et permettant également de vérifier les litres dans de bonnes conditions.

3° Une balance de Bache et Saxton, donnée au Conservatoire par le congrès des États-Unis, en 1852, et réservée tant pour les vérifications des mesures de 2 centilitres à 5 centilitres, que pour celle des boîtes de petits poids.

4° Une balance d'essai de Gambey, d'une exécution parfaitement appropriée à toutes les mesures plus petites : le centilitre et le double centilitre.

5° Ustensiles nécessaires à la manœuvre des grandes mesures et à leur remplissage.

6° Une plaque en fonte pour le dressage des disques, qui a dû être fait par un ouvrier spécial, dans un atelier dépendant du Conservatoire.

7° Atelier de distillation d'eau, pourvu d'un alambic et de ses accessoires.

La distillation a été faite avec le plus grand soin et dans des conditions spéciales qu'il importe de faire connaître.

L'alambic placé dans une cave pouvait être rempli directement, tant pour son alimentation que pour celle de la bâche de condensation, par l'eau de la ville.

D'une contenance totale de 30 litres, il recevait à chaque opération 21 litres d'eau, que l'on distillait jusqu'à ce que qu'il n'y restât plus que 9 litres de liquide. Le feu devait être conduit assez lentement pour que la distillation des 12 litres, qui forment la différence entre ces deux nombres, durât environ deux heures.

Suivant les procédés indiqués par M. Boussingault, une première distillation avait pour objet de retenir l'ammoniaque dans le résidu. L'eau naturelle était additionnée, dans ce but, de 1 gramme de sulfate d'alumine par litre.

Lorsqu'on avait ainsi recueilli 11 litres d'eau distillée, on ajou-

tait aux 9 litres qui restaient encore dans l'alambic 12 nouveaux litres d'eau ordinaire, additionnée de 12 grammes de sulfate d'alumine, et l'on continuait à opérer de la même façon jusqu'à ce que l'on eût obtenu un total de 100 litres d'eau, privée d'ammoniaque, après quoi l'on vidait et l'on nettoyait l'alambic avant de recommencer.

La seconde distillation était plus particulièrement destinée à retenir l'acide carbonique au moyen d'une addition de 1 gramme de potasse caustique, fondue, par litre, et l'on arrêtait encore l'opération lorsqu'on voulait obtenir 12 litres d'eau distillée.

Dès la première distillation, le liquide était exclusivement conservé dans des vases de verre bouchés au liége. Les bouteilles qui renfermaient celle qui devait servir aux pesées séjournaient dans l'atelier assez longtemps pour en prendre exactement la température.

Étalons mis en service. — Pour la vérification des mesures de capacité, on a dû se procurer des sous-multiples exacts du kilogramme, qui ont été déduits du kilogramme en laiton doré n° 1, de la manière suivante : On a vérifié d'abord deux poids de 500 grammes, par la double condition qu'ils devaient être égaux entre eux et que leur somme représentât exactement le kilogramme; l'un de ces étalons de 500 grammes a permis d'étalonner de la même façon cinq poids de 100 grammes; l'un de ceux-ci a permis d'ajuster 10 poids de 10 grammes; enfin on a fractionné en dix grammes égaux l'un de ces poids de 10 grammes, de manière à obtenir une série complète de 10 décagrammes, de 5 hectogrammes et de deux poids d'un demi-kilogramme. Cette série a suffi à toutes les opérations de vérification des mesures de capacité et à celle des boîtes de poids.

Personnel. — Le travail de l'étalonnage des mesures de capacité a exigé un personnel très-variable, par suite des délais qu'ont apportés les réparations au dehors.

Vers la fin des opérations il a été nécessaire d'y appeler le personnel du bureau des mètres, et le vérificateur des poids a dû, pendant la presque totalité de la durée des opérations, s'occuper personnellement des détails de cette vérification.

NATURE DES OPÉRATIONS.

Ordre et nature des opérations. — Le plus grand nombre des mesures reçues étant en assez bon état apparent, on a cru devoir, après leur numérotage, les soumettre à une première vérification, à la suite de laquelle on a remis ces mesures à MM. Collot frères, pour les nettoyer.

Le bulletin de livraison qui accompagnait cette remise contenait, pour chaque mesure, l'indication de la correction qu'elle devait subir en volume.

Pour les mesures trop grandes, on les ramenait à leur valeur vraie par un rodage du bord.

Pour les mesures trop petites, il fallait faire un alésage, dans lequel on était guidé par la différence de volume indiquée sur le bulletin, et qui correspondait à un certain poids de cuivre à enlever.

Les mesures devaient être rendues par MM. Collot frères, parfaitement ajustées. Ils s'étaient en conséquence basés sur les étalons préparés et réunis au Conservatoire. Dans le plus grand nombre des cas, la seconde vérification a été seulement confirmative de l'exactitude ainsi obtenue ; mais, en cas contraire, les mesures étaient à nouveau remises en réparation jusqu'à vérification satisfaisante.

Le remplissage exact des mesures de capacité présente des difficultés d'exécution qu'il est bon de signaler, et qu'il serait impossible de surmonter si l'eau distillée n'était pas exactement à la même température que le métal de la mesure en vérification.

La mesure vide, accompagnée de son disque de glace, était placée une première fois sur la balance avec des poids étalonnés, formant le poids total, correction faite d'après la table, de l'eau qu'elle devait contenir si sa capacité était exacte à 0°. L'ensemble de ces trois charges était équilibré, sur l'autre plateau de la balance, par des contre-poids en laiton non ajustés.

On enlevait alors la mesure et on la remplissait d'eau distillée, de manière que la surface supérieure du liquide soit légèrement convexe, sans qu'elle puisse toutefois déborder; les dernières portions du liquide destiné au remplissage n'étaient

toutefois versées qu'après l'expulsion de toutes les bulles d'air qui étaient restées adhérentes aux parois, expulsion que l'on obtenait facilement en promenant une barbe de plume sur toute la surface intérieure de la mesure.

Le disque en glace était alors glissé avec précaution sur le bord extérieur, de manière à refouler tout le liquide excédant, que l'on enlevait avec une pipette, avant qu'il pût se répandre soit à l'extérieur de la mesure, soit sur la face supérieure du disque. Dans le cas où l'action de la pipette n'était pas suspendue au moment convenable, il se formait une bulle d'air sous la glace et il fallait recommencer, jusqu'à ce que l'on eût l'assurance qu'aucune bulle n'existât plus à la face inférieure du disque. Il y a quelque difficulté à faire agir convenablement la pipette pour l'enlèvement des dernières gouttes, surtout avec l'obligation imposée au vérificateur des mesures de recommencer toute expérience dans laquelle l'eau aurait coulé sur les parois.

Nous avons dit qu'il était indispensable que l'eau fût, ainsi que la mesure elle-même, à la température même de la salle; s'il n'en était pas ainsi, la dilatation ou la contraction résultant de la variation de cette température aurait pour effet inévitable, soit de faire suinter le liquide sur les bords du disque pendant les pesées, soit de laisser entrer de l'air sous le disque; dans l'un ou l'autre cas l'expérience serait à recommencer.

La mesure, bien exactement pleine d'eau, était à nouveau portée sur la balance, où il fallait qu'elle fît équilibre aux contre-poids qui y avaient été conservés.

La différence, s'il y en avait, indiquait la correction que l'état de la mesure exigeait.

Chaque pesée a été consignée sur les carnets, de manière qu'on puisse suivre, sans aucune lacune, tous les détails des diverses opérations auxquelles une même mesure a été soumise.

L'apposition du poinçon officiel sur les étalons ainsi vérifiés a nécessité des précautions particulières; on ne pouvait, sans altérer la planimétrie du bord rodé, penser à faire l'empreinte de poinçon sur le cercle supérieur. D'un autre côté, la capacité constatée pouvait être altérée d'une manière sensible si la paroi ne restait pas bien cylindrique. C'est cependant sur cette paroi que la marque officielle a été apposée, en évitant la possibilité

de toute déformation par l'application d'un mandrin intérieur tourné au même diamètre que la mesure.

La collection complète des étalons d'un bureau est trop volumineuse pour que l'on ait pu songer à protéger chacun d'eux par une boîte. Les mesures ont été simplement enveloppées de papier de soie, et, comme seconde enveloppe, d'un papier fort retenu par un fil, avant l'emballage[1].

Statistique des opérations du bureau des mesures de capacité. — Les bureaux de poids et mesures, organisés à différentes époques, possédaient, sous le rapport des mesures de capacité, un nombre d'étalons très-variable. C'est ainsi que 527 litres étalons avaient été remis à ces bureaux et seulement 19 centilitres.

Le nombre total des mesures, qui aurait dû s'élever à

$$370 \times 11 = 4070$$

pour que toutes les séries fussent complètes, n'était en réalité que de 1974, dont à déduire 41 qui formaient double emploi.

La Commission a été d'avis que, parmi ces étalons, il y en avait plusieurs dont la possession était indispensable pour tous les bureaux : le litre, le décalitre et le décilitre ; mais qu'il ne doit exister qu'un seul étalon de chaque espèce dans le même bureau.

Voici, en ce qui concerne ces étalons, en quelque sorte indispensables, les résultats des opérations effectuées :

DÉSIGNATION.	ENVOYÉS par les bureaux.	IMPROPRES au service.	RÉPARÉS et vérifiés.	NEUFS en remplacement.	RÉEXPÉDIÉS aux bureaux.	Restés au Conservatoire.	
						Réparables.	Rebutés.
Litres.......	527	12	369	0	369	146	12
Décalitres...	377	10	363	4	367	0	10
Décilitres....	353	3	350	19	369	0	3

Le bureau de Puget n'ayant pas envoyé son litre, qui lui avait

1. Depuis l'achèvement de ce travail, on a construit des boîtes garnies en drap, pour contenir la collection complète des mesures de capacité, ainsi que leurs

été fourni très-récemment, n'a pas été compris dans la réexpédition des litres. La même observation doit être faite pour le décilitre et le décalitre de ce même bureau.

Les deux autres décalitres manquants sont ceux des bureaux de Bonneville et de Thonon, dont les envois sont arrivés trop tardivement pour que ces étalons aient pu être commandés et exécutés avant la clôture des opérations.

Tous les bureaux de France se trouvent ainsi dotés des trois étalons principaux de mesures de capacité, à l'exception des deux décalitres de Thonon et de Bonneville.

Le résultat est moins satisfaisant à l'égard des huit autres mesures, ainsi qu'on le reconnaît immédiatement à l'inspection du tableau qui les concerne.

DÉSIGNATION.	ENVOYÉS par les bureaux.	IMPROPRES au service.	RÉPARÉS ou vérifiés.	NEUFS en remplacement.	Restés au Conservatoire. Réparables.	Restés au Conservatoire. Rebutés.	RÉEXPÉDIÉS aux bureaux.
Doubles litres.....	68	10	55	0	3	10	55
Demi-décalitres...	60	7	52	0	1	7	52
Doubles décalitres.	355	1	341	16	0	1	357
Demi-litres......	390	12	274	0	16	12	274
Doubles décilitres.	34	3	29	0	2	3	29
Demi-décilitres....	25	1	24	0	1	1	24
Doubles centilitres.	18	0	18	0	0	0	18
Centilitres.......	19	0	19	19	0	0	19

Parmi ces mesures, plus secondaires, celle du double décalitre a été fournie au plus grand nombre des bureaux, 357 sur 370.

Les autres ont été distribuées en plus petite quantité, mais il ne paraît pas, qu'à l'exception du centilitre, elles soient d'une utilité bien indispensable parmi les étalons des bureaux de vérification.

Les disques en glace des mesures n'avaient pas, conformé-

disques, et qui ont à l'extérieur les dimensions suivantes : largeur, 0m.47 ; longueur, 0m.94 ; hauteur, 0m.38. Il serait fort utile que chaque bureau de vérificateur pût en être pourvu.

ment aux premières instructions, été expédiés par les vérificateurs, et il en a été ainsi pour les 102 premiers bureaux soumis à la vérification. L'expérience ayant démontré que, malgré tous les soins apportés au dressage des disques, il n'était pas indifférent de les remplacer les uns par les autres, de nouvelles instructions ont été envoyées dans les départements, et les disques des 268 bureaux vérifiés en dernier lieu ont tous été ajustés sur la mesure correspondante, avec indication spéciale de la face destinée à être en contact avec le liquide.

On a ainsi reçu 1428 disques; on en a réexpédié 1532, et il en est resté au Conservatoire 50 qui pourront être utilisés au fur et à mesure des besoins.

Les objets restés au Conservatoire sont les suivants :

	Réparables.	Rebutés.
Litres	146	12
Décalitres	0	10
Décilitres	0	3
Doubles litres	3	10
Demi-décalitres	1	7
Doubles décalitres	0	1
Demi-litres	16	12
Doubles décilitres	2	3
Demi-décilitres	1	1
Disques	50	0

Les mesures rebutées sont presque toutes en cuivre rouge; nous les avons supprimées à cause de leur construction défectueuse, et il n'en existe plus aucune qui soit confectionnée avec ce métal dans les bureaux de vérification; elles sont toutes en laiton, très-solides et de construction irréprochable.

Les mesures gardées au Conservatoire, et indiquées comme pouvant être réparées, comptent principalement 146 litres et 16 demi-litres, désignés comme litres et demi-litres surbaissés, et il est nécessaire d'indiquer les raisons pour lesquelles ils ont été retirés comme inutiles.

Les instructions du 15 septembre 1839 consacrent deux séries de mesures remplissant des conditions différentes.

Dans l'emploi commercial, les mesures destinées aux liquides

doivent avoir une hauteur double de leur diamètre. Les mesures plus grandes que le double-litre et toutes celles qui sont destinées aux matières sèches ont une hauteur seulement égale au diamètre; c'est dire que ces dernières sont d'un format plus surbaissé que les autres.

Les mesures-étalons ne devant pas servir aux usages commerciaux, il est parfaitement inutile qu'il y en ait de deux formats différents, puisque la capacité est toujours la même; et il serait désirable que ces étalons fussent, autant que possible, établis sur le modèle qui comporte le plus petit diamètre et la plus grande hauteur, parce qu'alors les erreurs possibles, au remplissage, sont de beaucoup moins dangereuses.

En ce qui concerne toutes les mesures comprises depuis le double litre jusqu'au centilitre, cette condition est facilement réalisable, et nous avons retourné aux différents bureaux toutes les mesures du format surélevé qu'il nous avaient envoyées.

Nous avons réservé les mesures du format surbaissé pour compléter, autant que possible, les séries incomplètes, et toutes celles qui sont indiquées comme réparables pourraient encore être employées comme mesures de service et mises à la disposition des bureaux.

Objets supplémentaires envoyés par les bureaux. — Indépendamment des objets compris dans les états qui précèdent, et qui font partie de la série régulière des étalons soumis à la vérification, un assez grand nombre de bureaux ont envoyé au Conservatoire, contrairement aux instructions administratives :

1° Des poids isolés, à bouton, à godets ou de modèles irréguliers;

2° Des séries de poids du deux-kilogrammes au décagramme, et des séries de poids du 500 grammes au milligramme, tantôt renfermés dans des boîtes, tantôt placés dans des blocs de bois découpés;

3° Des mesures de capacité, soit en étain, soit en fer-blanc.

4° L'un de ces bureaux a même envoyé un nécessaire de vérificateur ; un autre des mesures en bois; un troisième des jauges pour les mesures de capacité; un quatrième deux mesures : l'une de 1/4 de litre, l'autre de 1/8 de litre, en laiton ; et enfin

deux bureaux avaient chacun compris une balance dans leur envoi.

Parmi tous ces objets, qui ne sont à aucun titre des étalons, il n'a été procédé à la vérification et au rajustage que de 45 séries de poids du 500 grammes au milligramme, de 14 poids à godets et de l'une des balances.

Les autres objets, en trop mauvais état ou d'une construction défectueuse, ont été réexpédiés, sans avoir subi de réparation, à leurs bureaux respectifs, sauf toutefois les objets suivants qui sont restés au Conservatoire :

1° Deux poids à poignées mobiles, de 50 et de 20 kilogrammes qui, n'étant pas réglementaires, ne doivent pas être tolérés dans les bureaux de vérification;

2° Six poids en forme de cloche (10, 5 et 2 kilog.; 500, 250 et 125 grammes) pour le même motif;

3° Un kilogramme à godets, provenant d'un bureau qui en possédait trois;

4° Une boîte contenant une série de poids du double kilogramme au décigramme, et une autre boîte contenant une série incomplète du 500 grammes au milligramme, en trop mauvais état pour qu'on puisse en tirer parti.

5° Le 1/4 et le 1/8 de litre en laiton qui ne sont pas réglementaires

6° Cinquante-deux couvercles en laiton qui accompagnaient autant de litres du format surélevé, tous remplacés par des disques de glace bien rodés;

7° Enfin deux boîtes contenant chacune une série de poids du 500 grammes au milligramme, provenant d'un bureau qui avait envoyé trois séries semblables. Ces boîtes ont été réparées et rajustées, et elles peuvent être mises en service.

Quant au nécessaire de vérification, il a été remis au ministère, pour que le bureau compétent décide sur ce qu'il y avait à en faire.

Toutes les mutations dont nous venons de parler sont inscrites respectivement sur celui des bulletins qu'elles concernent. Ces bulletins indiquent ainsi, sans aucune exception, la situation exacte des objets réexpédiés par rapport aux objets reçus.

IX. — EMBALLAGE ET RÉEXPÉDITION DES ÉTALONS.

Lorsque tous les éléments d'une expédition étaient préparés, ils étaient remis sur place à un emballeur, qui ne devait ni ouvrir les boîtes ni s'occuper des enveloppes de papier dans lesquelles les mesures étaient placées. L'emballage se faisait ainsi toutes les fois qu'il n'y avait pas d'impossibilité pour placer tous les objets dans les caisses mêmes envoyées par chaque bureau. On n'en fournissait de nouvelles que quand les premières étaient insuffisantes pour recevoir les produits à réexpédier, qui présentaient quelquefois un plus grand volume qu'à l'arrivée, par suite des additions qui y avaient été faites.

Chaque caisse était réexpédiée par les soins des Messageries impériales, avec l'indication en toutes lettres du bureau de destination et un bordereau spécial, en forme d'étiquette, de son contenu.

Les mêmes indications étaient inscrites sur le bulletin d'arrivée, qui, se trouvant dès lors complet, était adressé, avec l'avis d'expédition, à l'administration centrale.

Les mutations du matériel de chaque bureau sont ainsi représentées, dans la comptabilité, par les bordereaux isolés qui ont grandement facilité les écritures de toute l'opération.

X. — COMPTABILITÉ ET DÉPENSES.

Les fonds affectés au travail de vérification des étalons ont été compris aux budgets des exercices 1866, 1867 et 1868 pour les crédits suivants :

1866	11002,07
1867	100000,00
1868	15000,00
Total	126002,07

On a établi pour les dépenses un compte spécial, avec prises en charge par M. l'agent comptable du Conservatoire pour tous les objets matériels.

Les payements ont été effectués, par ses soins, sur bordereaux

distincts, à l'aide des ordonnances qui lui ont été successivement délivrées par le département de l'agriculture, du commerce et des travaux publics.

Tous les éléments de cette comptabilité spéciale ont été conservés pour être déposés dans leur ensemble dans les archives du Conservatoire.

Les pièces de dépense sont restées entre les mains de M. l'agent comptable du Conservatoire à l'appui de ses comptes de gestion.

Nous nous bornerons dans ce rapport à indiquer d'une manière générale les résultats financiers de l'opération.

Les dépenses se répartissent entre les différents exercices de la manière suivante :

Exercice 1866.	11002,07
— 1867.	99999,63
Reversé au Trésor en fin d'exercice. .	3,37
Exercice 1868.	14984,55
Reversé au Trésor pour solde.	15,45
Total égal.	126005,07

La répartition du total des dépenses effectuées, soit 125986f.25, entre les différentes natures de dépenses, doit être spécialement indiquée. Elle se résume complétement dans les termes suivants :

DÉSIGNATION.	DÉPENSES effectives.		DÉPENSES par bureau.	PART proportionnelle
Personnel.	27323.21		73.85	0.22
Transports.	11234.35		30.37	0.09
Emballages.	1398.00		3.78	0.01
Frais de bureau et d'impression. .	348.30		0.94	
Chauffage et combustibles.	2525.00	4603.99	6.83	0.04
Matières et dépenses diverses. . . .	1730.69		4.68	
Boîtes de poids.	6365.00		17.20	
Mètres.	9071.50	76465.20	24.52	0.60
Poids.	37779.45		102.11	
Mesures de capacité.	23249.25		62.81	
Achat et réparation d'instruments.	4961.50		13.41	0.04
	125986.25		340.50	1.00

Ce tableau de la répartition de la dépense montre que, dans

cette opération qui a exigé cependant les plus grands soins, le traitement du personnel n'est compris que pour 0,22, c'est-à-dire pour moins du quart de la dépense totale; les dépenses administratives, comprenant les fournitures de matières brutes pour 0,035, le transport et l'emballage pour 0,010, l'achat et la réparation des instruments pour 0,035 et les réparations des étalons pour 0,61, forment dans leur ensemble les quatre cinquièmes de la dépense totale.

A un autre point de vue, il convient de faire remarquer que la dépense totale par bureau ressort à 340,50, et si l'on met ce prix de revient en parallèle avec le prix d'acquisition de la collection complète des étalons non vérifiés, on trouve que ce matériel se compose de :

1 mètre étalon avec sa boîte.	72,00
5 poids d'étalons, du kilog. au 20 kilog., ensemble 250 fr., et avec la boîte. . .	271,00
11 mesures étalons du centilitre, au double décalitre.	727,00
Total.	1070,00

L'ensemble des opérations de transport, de réparation et de vérification, s'élèverait environ au tiers de la dépense d'achat.

XIII. — CONSERVATION ET EMPLOI DES ÉTALONS.

La loi du 4 juillet 1837 a décidé que la vérification de tous les étalons des bureaux devait être renouvelée tous les dix ans. Les indications fournies par l'opération actuelle sont donc d'autant plus intéressantes qu'elles pourront, dans une certaine mesure, aider, ne fût-ce qu'à titre de renseignement, à l'exécution des vérifications futures.

Mais la commission a pensé qu'il ne saurait être inutile d'indiquer les conditions de conservation et d'emploi des étalons mis à la disposition des vérificateurs.

Il ne faut pas perdre de vue que les étalons doivent former la base certaine de tous les éléments de vérification du bureau; ils ne doivent pas être employés directement et journellement à

toutes les opérations indistinctement. Quelques explications à ce sujet ne seront peut-être pas hors de propos.

Le mètre-étalon doit être conservé dans sa boîte à l'abri de l'humidité, et à la disposition seule du vérificateur personnellement.

Il ne doit être employé que pour vérifier les mètres employés journellement à la vérification ou dans quelques cas exceptionnels. A cet effet et en l'absence de comparateur, il doit être placé sur une table, et le mètre ou la mesure à comparer peut être placé sur lui de manière à reconnaître s'il y a excès ou défaut de longueur à l'une des extrémités, après concordance bien établie, à l'autre extrémité, au moyen d'un petit talon, en bois, bien dressé.

Les extrémités du mètre-étalon ne doivent jamais être touchées avec les doigts ni essuyées avec un linge ; il n'y a point à s'inquiéter des petites rayures qui seraient produites à sa surface par la superposition des mètres qu'il aurait servi à comparer.

La vérification du mètre à talon des nécessaires demande à être faite avec beaucoup de soin, en s'assurant, sans exercer aucune pression, si les talons peuvent passer, sans laisser de jeu, au delà des deux bouts du mètre-étalon. On prendra soin dans cette opération de ne jamais mettre les talons en contact avec les milieux des faces extrêmes du mètre-étalon, afin d'éviter toute rayure en ces points, par rapport auxquels les mètres ont été étalonnés.

Sans être à la disposition du public, le mètre-étalon est cependant destiné à renseigner les fabricants de mesures de longueur sur la valeur exacte du mètre, et, dans ce but, le vérificateur ne pourra refuser, sans motif plausible, et tout en évitant qu'on en abuse, de soumettre au même mode de vérification un mètre qui lui serait présenté dans ce but. Il serait de même déféré à toute demande, de même nature, faite par un établissement scientifique. Les jauges des mesures pourront être vérifiées de temps en temps d'après les divisions des mètres-étalons, en les présentant à plat sur le côté du mètre étalon qui est divisé.

Les poids-étalons doivent être également conservés dans leur boîte, à l'abri de l'humidité et de toute communication au public. La boîte devra être ouverte de temps en temps et visitée. On pourra essuyer les poids qui auraient reçu de la poussière, mais

avec un linge de coton non empesé et en évitant absolument de toucher ces poids avec les mains, même par le bouton. Le contact des doigts produit toujours une oxydation qui altère essentiellement la valeur du poids.

Les poids étalons ne doivent servir qu'à vérifier, au besoin, les poids de service courant du bureau et en particulier le kilogramme à godet du nécessaire. Exceptionnellement le vérificateur les emploiera pour les renseignements de précision, demandés aux mêmes titres que pour les mètres.

Aussitôt les opérations terminées, le poids-étalon sera remis dans sa boîte avec les précautions déjà indiquées.

S'il arrivait dans un bureau que les poids-étalons s'oxydassent, ainsi que cela est arrivé dans le cours des opérations d'étalonnage, pendant lesquelles certains poids, placés dans des boîtes dont le collage n'était pas assez sec, se sont déteriorés et se sont couverts d'une multitude de petits points blancs, disséminés sur toute la surface, les vérificateurs devraient prévenir immédiatement l'administration centrale de ce signe d'altération.

Toute marque ou tache, qui se manifeste sur un poids, doit être considérée comme une cause d'erreur.

Il est essentiel de recommander très-sévèrement aux vérificateurs de n'apporter aucune modification dans leurs étalons, particulièrement dans ceux de poids. Nous avons la certitude que, dans la période précédente, certains poids-étalons ont été surchargés, sans doute par suite de quelque circonstance qui se sera produite pendant le service. Ces surcharges, mal faites et inexactes, doivent être absolument proscrites; s'il se présente quelque accident, le vérificateur doit en prévenir l'administration, mais jamais ne se permettre de le réparer lui-même, puisqu'il n'a aucun moyen de le faire avec quelque exactitude.

Les mesures de capacité se conservent plus facilement ; elles devront être placées à l'abri de la poussière et enveloppées dans du papier, le disque en verre de chacune d'elles formant couvercle.

Ces mesures peuvent être employées pour la vérification des mesures de service dans les bureaux, soit à la graine, soit à l'eau.

Les vérifications faites à la graine sont les moins précises, mais elles suffiront dans la plupart des cas. On remplit l'étalon

de graine bien sèche; on nivelle avec le disque lorsque la mesure est pleine, et l'on vérifie la mesure correspondante en y versant toute cette graine.

Les vérifications faites à l'eau sont plus difficiles. On remplit de même la mesure avec le liquide, en mettant assez d'eau pour que la surface de ce liquide soit un peu convexe; on glisse le disque de manière à chasser l'eau en excès, sans qu'il se forme de bulles d'air à sa surface. Si l'on a une pipette, on cherche à éviter que le liquide coule sur les bords; sinon on essuie avec un linge de coton et on laisse sécher aussi longtemps que cela est nécessaire en changeant la mesure de place pour laisser disparaître aussi l'eau qui aurait pu se répandre sous la mesure. Les vérifications se font alors en versant dans la mesure à contrôler toute l'eau contenue dans l'étalon, avec le soin de n'en perdre aucune parcelle.

L'étalon est assez solidement construit pour ne donner aucune inquiétude de détérioration. L'opération terminée, il doit être seulement essuyé à l'intérieur avec un linge de coton, et conservé comme précédemment dans son enveloppe. On peut sans inconvénient l'essuyer à sec et plus fortement à l'extérieur.

Il est venu au conservatoire des décalitres-étalons qui avaient été, dans les bureaux de vérifications, recurés au grès comme des ustensiles de cuisine, même à l'intérieur.

Au reste, les vérifications à l'eau seront peu fréquentes, mais il ne faudrait pas les refuser lorsqu'elles devraient avoir pour but de fournir aux fabricants de mesures les indications nécessaires à l'amélioration de leur fabrication.

. . . .

XIV. — CONCLUSIONS.

L'importante opération qui vient d'être effectuée par les soins du département de l'agriculture, du commerce et des travaux publics, aura pour résultat d'apporter plus d'uniformité et d'assurer plus complétement la confiance publique sur tout ce qui intéresse le système métrique.

La dotation plus uniforme des bureaux de vérification de l'Empire, l'exactitude plus grande qui a pu résulter d'une vérification simulanée de tous les étalons, leur emploi mieux dirigé entre les mains des vérificateurs, doivent suffire pour à donner au système métrique un nouveau caractère de sûreté et de précision.

La facilité avec laquelle le travail de la vérification des étalons s'est effectué peut être aussi considérée comme un enseignement utile pour les États qui ont déjà adopté ou qui se proposent d'adopter le système métrique.

Signé : Général A. MORIN, *président.*

REGNAULT, JACQUOT, GRENET,

H. TRESCA, *secrétaire et rapporteur.*

(Publié conformément à la décision de S. E. M. le Ministre de l'agriculture et du commerce, en date du 31 *janvier* 1870.)

TABLES DE CORRECTION

TABLE *des poids de l'eau distillée contenue dans les différentes mesures de capacité en laiton, pour les températures comprises de 0° à 25° du thermomètre centigrade, eu égard aux corrections relatives aux pertes de poids de l'air, à la dilatation des mesures et à la dilatation de l'eau.* (Novembre 1866.)

DEGRÉS.	DOUBLE DÉCALITRE.		DÉCALITRE.		LITRE.		DÉCILITRE.	
	Poids en grammes.	Perte de poids en grammes.	Poids en grammes.	Perte en poids en grammes.	Poids en grammes.	Perte de poids en grammes.	Poids en grammes.	Perte en poids en grammes.
0	19975,72	25,28	9987,36	12,64	998,736	1,264	99,874	0,1264
1	19976,96	23,04	9988,48	11,52	998,848	1,152	99,885	0,1152
2	19978,91	21,09	9989,45	10,55	998,945	1,055	99,895	0,1055
3	19980,57	19,43	9990,28	9,72	999,028	0,972	99,903	0,0972
4	19981,93	18,07	9990,97	9,03	999,097	0,903	99,910	0,0903
5	19983,01	16,99	9991,50	8,50	999,150	0,850	99,915	0,0850
6	19983,79	16,21	9991,89	8,11	999,189	0,811	99,919	0,0811
7	19984,28	15,72	9992,14	7,86	999,214	0,796	99,921	0,0796
8	19984,48	15,52	9992,24	7,76	999,224	0,776	99,922	0,0776
9	19984,19	15,81	9992,09	7,91	999,209	0,791	99,921	0,0791
10	19983,96	16,04	9991,98	8,02	999,198	0,802	99,920	0,0802
11	19983,20	16,80	9991,60	8,40	999,160	0,840	99,916	0,0340
12	19982,20	17,80	9991,10	8,90	999,110	0,890	99,911	0,0890
13	19980,96	19,04	9990,48	9,52	999,048	0,952	99,905	0,0952
14	19979,48	20,52	9989,74	10,26	998,974	1,026	99,897	0,1026
15	19977,76	22,24	9988,88	11,12	998,888	1,112	99,889	0,1112
16	19975,80	24,20	9987,90	12,10	998,790	1,210	99,879	0,1210
17	19973,60	26,40	9986,80	13,20	998,680	1,320	99,868	0,1320
18	19971,16	28,84	9985,58	14,42	998,558	1,442	99,856	0,1442
19	19968,48	31,52	9984,24	15,76	998,424	1,576	99,842	0,1576
20	19965,56	34,44	9982,78	17,22	998,278	1,722	99,828	0,1722
21	19962,40	37,60	9981,20	18,80	998,120	1,880	99,812	0,1880
22	19959,00	41,00	9979,50	20,50	997,950	2,050	99,795	0,2050
23	19955,36	44,64	9977,68	22,32	997,768	2,232	99,777	0,2232
24	19951,48	48,52	9975,74	24,26	997,574	2,426	99,757	0,2426
25	19917,36	52,64	9973,68	26,32	997,368	2,632	99,737	0,2632

Cette table indique les pertes de poids, exprimées en grammes, pour les mesures en laiton du double décalitre, du décalitre, du litre et du décilitre, lorsqu'elles sont remplies d'eau distillée, en ayant égard aux différentes températures exprimées en degrés du thermomètre centigrade. Les calculs ont été faits pour l'état normal de l'atmosphère qui correspond à une hauteur barométrique de $0^{m},760$ et à 72° de l'hygromètre de Saussure. Il est essentiel, pour prévenir toute cause d'erreur, d'établir la tare de chaque mesure avec une mesure semblable et de même matière que celle soumise à l'ajustage, en se servant de poids de même volume et de même matière que les étalons en laiton de 20 kil., 10 kil. et 100 grammes, qui seront employées dans les pesées.

TABLE (dite de Coriolis), *des poids de l'eau distillée contenue dans des mesures en laiton d'un double décalitre, décalitre, litre et décilitre de capacité, pour les diverses températures, depuis 0° jusqu'à 30° du thermomètre centigrade, eu égard à l'effet du poids de l'air et à la dilatation des mesures.*

DEGRÉS.	DOUBLE DÉCALITRE. Poids en grammes.	DOUBLE DÉCALITRE. Perte de poids en grammes.	DÉCALITRE. Poids en grammes.	DÉCALITRE. Perte de poids en grammes.	LITRE. Poids en grammes.	LITRE. Perte de poids en grammes.	DÉCILITRE. Poids en grammes.	DÉCILITRE. Perte de poids en grammes.
0	19975,08	24,92	9987,54	12,46	998,754	1,246	99,8754	0,1246
1	19977,40	22,60	9988,70	11,30	998,870	1,130	99,8870	0,1130
2	19979,42	20,58	9989,71	10,29	998,971	1,029	99,8971	0,1029
3	19981,14	18,86	9990,57	9,43	999,057	0,943	99,9057	0,0943
4	19982,64	17,36	9991,32	8,68	999,132	0,868	99,9132	0,0868
5	19983,90	16,10	9991,95	8,05	999,195	0,805	99,9195	0,0805
6	19984,90	15,10	9992,45	7,55	999,245	0,755	99,9245	0,0755
7	19985,66	14,34	9992,83	7,17	999,283	0,717	99,9283	0,0717
8	19986,14	13,86	9993,07	6,93	999,307	0,693	99,9307	0,0693
9	19986,40	13,60	9993,20	6,80	999,320	0,680	99,9320	0,0680
10	19986,40	13,60	9993,20	6,80	999,320	0,680	99,9320	0,0680
11	19986,16	13,84	9993,08	6,92	999,308	0,692	99,9308	0,0692
12	19985,70	14,30	9992,85	7,15	999,285	0,715	99,9285	0,0715
13	19984,98	15.02	9992,49	7,51	999,249	0,751	99,9249	0,0751
14	19984,00	16,00	9992,00	8.00	999,200	0,800	99,9200	0,0800
15	19982,78	17,22	9991,39	8,61	999.189	0,861	99,9139	0,0861
16	19981,34	18,66	9990,67	9,33	999,067	0,933	99,9067	0,0933
17	19979,68	20,32	9989,84	10,16	998,984	1,016	99,8984	0,1016
18	19977,78	22.22	9988,89	11,11	998,889	1,111	99,8889	0,1111
19	19975,64	24 36	9987,82	12,18	998,782	1,218	99,8782	0,1218
20	19973,28	26,72	9986,64	13,36	998,664	1,336	99,8664	0,1336
21	19970,70	29,30	9985,35	14,65	998,535	1,465	99.8535	0,1465
22	19967,88	32,12	9983,94	16,06	998,394	1,606	99,8394	0,1606
23	19964,86	35,14	9982,43	17,57	998,243	1,757	99,8243	0,1757
24	19961,60	38,40	9980,80	19,20	998,080	1,920	99,8080	0,1920
25	19958,10	41,90	9979,05	20,95	997,905	2,095	99,7905	0,2095
26	19954,40	45,60	9977,20	22,80	997,720	2,280	99,7720	0,2280
27	19950,48	49,52	9975,24	24.76	997,524	2,476	99,7524	0,2476
28	19946,36	53,64	9973,18	26,82	997,318	2,682	99,7318	0,2682
29	19942,02	57,98	9971,01	28,99	997,101	2,899	99,7101	0,2899
30	19937,60	62.40	9968.80	31,20	996,880	3,120	99,6880	0,3120

Cette table indique les pertes de poids exprimées en grammes, pour les mesures en laiton, du double décalitre, du décalitre, du litre et du décilitre, lorsqu'elles sont remplies d'eau distillée, en ayant égard aux différentes températures exprimées en degrès du thermomètre centigrade. Les calculs ont été faits pour l'état normal de l'atmosphère qui correspond à une hauteur barométrique de $0^m,76$, et à 72° de l'hygromètre de Saussure.

Il est essentiel, pour prévenir toute cause d'erreur, d'établir la tare de chaque mesure avec une mesure semblable et de même capacité que celle soumise à l'ajustage, en se servant des poids de même volume et de même matière que les étalons en laiton de 20 kilogrammes, 10 kilogrammes, 1 kilogramme et 100 grammes, qui seront employés pour apprécier les contenances du double décalitre, du décalitre, du litre et du décilitre.

EXPÉRIENCES

SUR

LES POÊLES EN TERRE RÉFRACTAIRE

DE MM. MULLER ET C[IE].

PAR M. LE GÉNÉRAL MORIN.

Parmi les tentatives déjà nombreuses que les constructeurs d'appareils de chauffage ont faites, depuis quelque temps, pour éviter les inconvénients justement reprochés aux poêles et aux calorifères en fonte ou en fer, j'ai déjà eu l'occasion d'appeler l'attention sur les calorifères généraux entièrement construits en briques réfractaires, et j'ai fait connaître les résultats satisfaisants qu'on en obtenait, tant au point de vue du rendement calorifique qu'à celui de la salubrité.

Leur application au chauffage des lieux de réunion du Corps législatif, pendant toute la durée du dernier hiver, a montré qu'en conduisant le feu avec modération, et en mêlant l'air chaud qu'ils fournissent à une température moyenne de 40° à 50°, avec une proportion convenable d'air froid, réglée à l'aide de régistres faciles à manœuvrer, on pouvait chauffer à 18° ou 21° les plus vastes locaux, quelle que soit la rigueur de l'hiver, en n'y introduisant que de l'air à 20° ou 22°, et par conséquent exempt des inconvénients qu'on peut reprocher à celui que donnent presque toujours les autres calorifères.

MM. Muller et C[ie] ont cherché à introduire aussi l'usage exclusif de la terre réfractaire dans la construction des poêles ordinaires d'appartements; ils ont présenté au Conservatoire des

arts et métiers deux appareils de ce genre, en demandant qu'ils fussent soumis à des expériences.

Poêle du premier modèle. — Cet appareil représenté pl. 70 fig. 1 est du système des poêles à flamme renversée, et destiné à brûler du coke. L'avantage de ce dispositif se réduit à éviter la nécessité d'une alimentation fréquente, en permettant de ne recharger le poêle que deux ou trois fois par journée de douze heures.

L'air destiné à la combustion afflue par un cendrier A, de 0m.105 sur 0m.290, soit 0mq.0304, ce qui est beaucoup plus que suffisant, et peut être réduit à 0m.0072, en conservant au tirage toute l'activité nécessaire. La grille A a 0mq.0254 de surface totale, et offre 0mq.0107 de passage libre. Le foyer se compose : 1° d'un creuset tronconique C, en terre réfractaire, à parois de 0m.05 d'épaisseur, présentant une tubulure que ferme une porte; 2° d'une pièce tronconique C, de même diamètre à sa base inférieure que le creuset à sa partie supérieure, et simplement posée sur celui-ci. Le tronc de cône, ouvert par en haut, reçoit le combustible jusqu'à son sommet, et supporte un couvercle en fonte, à rebords, D, qui se pose dans une cuvette annulaire remplie de sable fin, pour former joint. Vers la base du cône C', six ouvertures E, communiquant avec autant de conduits de fumée F, symétriquement disposés autour du réservoir de combustible, dirigent les produits de la combustion vers le sommet du poêle dans une sorte de collecteur annulaire fermé au-dessus, et communiquant avec le tuyau de fumée G.

L'on voit, par cette disposition, que la combustion n'a lieu que dans le creuset inférieur, et que le coke y descend au fur et à mesure de la consommation, sans donner lieu à des échappements de gaz par la partie supérieure du poêle; ce qui est le caractère propre des poêles à flamme renversée.

Les six tuyaux de fumée venus au moulage, et d'une seule pièce, avec le réservoir C' de coke, forment à l'extérieur autant de contreforts et de conduits H', dans lesquels passe et s'échauffe l'air extérieur introduit dans le socle H du poêle, par trente-cinq ouvertures offrant ensemble un passage de 0mq.0423. La surface totale extérieure de chauffe du foyer en terre réfractaire est de 0mq.8441.

Dans le poêle qui nous a été présenté, l'air à chauffer est pris

dans la pièce elle-même; mais dans beaucoup d'autres installations le socle est plein, et de l'air venant de l'extérieur s'y introduit par un canal ménagé sous le sol; ce qui est préférable sous tous les rapports.

Le creuset C et le réservoir C′ sont enveloppés à distance par une chemise M en carreaux creux, émaillés à l'extérieur, assemblés par des cercles légers en fonte, et formant par leur ensemble un poêle ordinaire, surmonté d'un chapeau à couvercle mobile et à grillage.

La surface extérieure du poêle est égale à. .	$0^{mq}.2265$
Celle du tuyau de fumée était égale à. . . .	$1^{mq}.4705$
	$1^{mq}.6970$

L'air introduit à la base du poêle s'échauffe au contact de la surface extérieure du creuset C et du réservoir C′, et vient déboucher par le couvercle L.

L'ensemble de l'appareil a l'aspect d'un poêle cylindrique ordinaire, plus ou moins ornementé.

Résultats d'expériences. — Le poêle que l'on vient de décrire a été monté dans la salle où avaient été expérimentés, en 1868, divers autres appareils en fonte ou en fer, qui ont donné les résultats consignés au n° 30 des *Annales du Conservatoire*. Cette pièce a 108 mètres cubes de capacité; elle est éclairée par quatre fenêtres, et a deux portes.

Le poêle, comme on l'a dit, n'avait pas de prise d'air extérieure, ce qui eût été préférable pour la salubrité et pour le bon effet du chauffage; mais la disposition adoptée ne présentait pas d'inconvénient pour l'appréciation de son rendement calorifique.

Le tuyau de fumée se rendait dans une cheminée, près du plafond, et, pour les deux premières séries d'expériences, cette cheminée était fermée à la partie inférieure, tandis que, pour les deux dernières, on l'a au contraire ouverte, afin de déterminer une certaine ventilation, dont on a constaté l'importance.

Le chauffage a eu lieu au coke, et l'alimentation a été faite régulièrement par petites quantités, sauf pour la première expérience, où le poêle a été entièrement rempli.

Les résultats des expériences sont consignés dans les tableaux suivants :

DATES. 1870	Durée des expériences.	TEMPÉRATURES MOYENNES. Extérieure.	De la salle.	De la fumée.	De l'air chaud fourni.	De l'air vicié extrait.	Coke brûlé par heure.	Chaleur dépensée.	Volume d'air passé dans le foyer.	Chaleur emportée par la fumée.	Volume d'air évacué par heure.	Chaleur emportée par l'air vicié.	Rapport de la chaleur emportée par la fumée à la chaleur dépensée.	Rendement calorifique.
	h.	0	0		0		kil.	calories.	mc.	calories.	mc.			
9 février.	6 0	1.0	18.12	131.2	112.7	»	1.225	8575	12.72	414.86	»	»	0.048	0.952
10 id..	6 0	— 1.0	18.70	131.1	123.8	»	1.433	10031	26.58	862.34	»	»	0.086	0.914
14 id..	6 0	+ 1.0	11.70	110.0	116.9	»	1.493	10451	23.19	721.70	119.95	»	0.069	0.931
15 id..	»	— 1.0	12.90	117.0	»	»	1.400	9800	24.05	635.66	»	»	0.065	0.935
Rendement total moyen.			14.40	119.0			1.442		24.66					0.933

Le volume d'air chaud fourni par l'appareil a été respectivement :

Le 9 février de........	292^{mc}.250 à 112°.7	pris à 18°.12	et représentant.........	0.700
10 —	313^{mc}.632 à 123°.8	— 18°.70	—	0.697
14 —	287^{mc}.496 à 116°.9	— 11°.70	—	0.593
Soit en moyenne..				0.665

de la chaleur développée par le combustible.

La différence au rendement moyen total ou 0.268 indique à peu près la portion de la chaleur utilisée qui est transmise par la surface rayonnante du poêle.

Il résulte de ces expériences que ce poêle, par suite du faible volume d'air nécessaire pour sa combustion et de la température modérée de la fumée, ne donne lieu qu'à une perte assez faible de chaleur entraînée par cette fumée, et fournit un rendement calorifique moyen de 0.933 de la chaleur développée par le combustible, estimée à 7000 unités par kilogramme de coke. Sous ce rapport, il serait d'un emploi au moins aussi avantageux que les meilleurs appareils de chauffage.

La température de l'air chaud fourni a été en moyenne de 118°, ce qui est encore trop considérable. Cet air pris dans la salle, à 12° en moyenne, avait donc été élevé de 106°. Si l'air avait été pris à l'extérieur à la température de 6°, l'élévation n'aurait été que de 100°, ce qui est encore trop. Quoique ces températures soient beaucoup moindres que celles de l'air fourni par presque tous les poêles à bouches de chaleur, il serait à désirer qu'elles fussent notablement abaissées; cela serait facile en augmentant les sections de passage, et par suite le diamètre des poêles. Il en résulterait aussi un accroissement très-notable du volume d'air nouveau introduit, quand cet air serait pris à l'extérieur, en même temps que l'on supprimerait les entrées d'air froid par les portes et par les fenêtres. En joignant à cette amélioration celle d'une évacuation de l'air vicié obtenue simplement, soit, comme le conseillait Péclet et comme nous l'avons réalisé, en ouvrant, vers le bas, le conduit de la cheminée qui reçoit la fumée, soit, quand il n'y aurait pas de cheminée, à l'aide d'un tuyau spécial enveloppant celui de la fumée et débouchant à l'extérieur, comme l'a proposé M. Regnault, on pourrait rendre tout à fait salubre le chauffage par ces poêles.

Dans les expériences précédentes (le 14 février), où l'on a obtenu l'évacuation de l'air vicié par le premier moyen, presque toujours praticable dans les appartements ordinaires, le volume d'air extrait a été en tout de 119^{mc}.95 par heure. La pièce ayant 08^{mc} de capacité. Cela correspond à un renouvellement complet opéré 1.11 fois par heure, et suffirait pour assurer la salubrité, si cette pièce était occupée par cinq à six personnes; tandis qu'en prenant l'air échauffé dans la pièce elle-même, et en ne

produisant d'évacuation que par le tuyau de fumée, le volume d'air renouvelé n'a été que de 25^{mc} environ par heure, ce qui n'assure nullement cette salubrité.

Examen du mouvement de la fumée et de l'air chaud dans les expériences précédentes.

Le volume d'air entré, par heure, dans le poêle, a été de. 24^{mc}.66.

ou en 1″ $\frac{24,66}{36,00}$ = 0^{mc}.00685.

La section minimum de passage était de 0^{mq}.015

Cet air était entré à 14°. 40 et sorti à 119°, son volume a été augmenté dans le rapport de $\frac{1\ .234}{0\ .906}$ = 1 .36

Le vol. des gaz de la fumée était donc :

0^{mc}.00685 × 1 .36 = 0^{mc}.0093 en 1″

La vitesse de passage $\frac{0^{mc}.0093}{0^{mq}.015}$ = 0^{m}.621

Le volume d'air chaud fourni par le poêle en une heure a été d'environ 300 mètres en 1″ 0^{mc}.0833.

La section de passage par les six conduits latéraux . . . . 0^{mq}.0135

Celle du pourtour supérieur. . . 0 .0231

La section totale . . . . 0^{mq}.0366 pour l'air chaud.

La vitesse de passage $\frac{0^{mc}.0833}{0\ .0366}$ = 2^{m}28.

Il résulte de cette comparaison que l'air chaud, fourni par le poêle, circule dans ses conduits particuliers avec une vitesse beaucoup plus grande que les gaz de la combustion dans ceux qui leur sont destinés.

Il s'en suit que si, par quelque cause accidentelle, ou par un effet d'inégal retrait de la matière, il se développait quelques fissures, ainsi que déjà il s'en est manifesté dans le manchon du foyer, une partie des gaz de la combustion pourraient être ap-

peiés dans les conduits d'air chaud et versés dans le local à chauffer, ce qui serait un inconvénient, principalement au moment de l'allumage. Il paraît cependant que ces premières fissures ne s'accroissent pas, et que l'inconvénient signalé ne se produit pas en service courant.

Il est facile, d'ailleurs, de l'éviter complétement en augmentant le diamètre de l'enveloppe du poêle, afin de laisser au passage de l'air à chauffer une section plus grande. En lui donnant, par exemple, $0^m.08$ de plus en diamètre, on augmenterait la section d'un anneau égal à $0^{mq}.1170$, qui, jointe aux $0^{mq}.10366$ existants, donneraient une section totale de $0^{mq}.1536$.

La vitesse moyenne de passage serait alors réduite à

$$\frac{0^{me}.0833}{0^{mq}.1536} = 0^m.54,$$

ce qui est un peu inférieur à celle de la fumée que nous avons trouvée égale à $0^m.621$. Cet accroissement serait suffisant pour donner toute sécurité contre l'inconvénient signalé.

Poêle du second modèle. — Un autre poêle en terre réfractaire, du même constructeur, a été également essayé. Il est représenté pl. 71 fig. 2. Sa forme extérieure et sa disposition générale sont exactement les mêmes que pour le premier, mais l'appareil intérieur de chauffage, proprement dit, est plus simple. Il se compose d'un creuset C, avec une porte par laquelle on charge le combustible, et d'une chambre de fumée C', posée sur le creuset.

La chambre de fumée a un couvercle en calotte sphérique, qui peut être enlevé pour le nettoyage, mais qui ne sert pas pour le chargement.

Les produits gazeux de la combustion s'échappent par le haut de la chambre de fumée.

L'air introduit par le socle, comme dans le poêle précédent, s'échauffe au contact de la surface du creuset C et de la chambre de fumée C', et se répand dans la salle par le couvercle supérieur L.

L'enveloppe est aussi en carreaux émaillés.

L'on voit que ce poêle, d'une construction plus simple, n'est pas à flamme renversée, et que le chargement doit y être fait di-

DATES. 1870	Durée des expériences.	TEMPÉRATURES MOYENNES. Extérieure.	De la salle.	De la fumée.	De l'air chaud fourni.	De l'air vicié extrait.	Coke brûlé par heure.	Chaleur dépensée.	Volume d'air passé dans le foyer en 1 heure.	Chaleur emportée par la fumée par heure.	Volume d'air évacué par heure.	Rapport de la chaleur emportée par la fumée à la chaleur dépensée.	Rendement calorique.
Mars.	h. m.	°	°	°	°.	°	kil.	calories.	mc.	calories.	mc.	/	
8......	6 00	+ 6.0	23.65	155.5	82.5	65.2	1.696	11872	20.33	83300	118.44	0.070	0.93
9......	6 30	+ 5.5	21.10	113.6	60.0	42.8	1.344	9408	19.55	56047	114.87	0.060	0.94
Rendement moyen...........................													0.935

rectement par la porte. Mais le creuset, plus vaste que dans le premier modèle, permet d'y introduire à la fois une assez grande quantité de combustible pour que l'opération ne soit pas répétée trop souvent.

Les expériences faites sur ce second modèle ont été conduites de la même manière que les précédentes, et ont donné les résultats suivants :

Le volume d'air chaud, fourni par l'appareil, a été respectivement :

Le 8 mars,
de 318^{mc}.384 à 82°. 5,
pris à 23°.65.

Le 9 mars,
de 280^{mc}.368 à 60°. 00,
pris à 21°.40.

L'on voit que le rendement de ce poêle a été presque identiquement le même que celui du premier, et de 0.935 en moyenne pour les deux expériences, quoique, dans la première, la consommation de coke par heure ait été notablement plus grande que dans la seconde.

Le volume d'air chaud fourni a été de 318^{mc}.384 à 82°.5 dans la première expérience, et de 280^{mc}.368 à 60° dans la seconde; ce qui montre que si les dispositions locales avaient permis de faire prendre cet air à l'extérieur, il aurait pu suffire pour renouveler celui de la pièce, qui a 108^{mc} de capacité, environ trois fois par heure, au moyen d'une cheminée d'appel assez large.

Le volume d'air vicié évacué par la cheminée n'a été que de 118 à 111^{mc} par heure; mais cela tient évidemment à ce que le tuyau de cette cheminée, qui n'avait pas été établi dans la prévision d'une ventilation et n'offrait qu'une section de 0^{mc}.0491, était beaucoup trop petit. En lui donnant des dimensions plus grandes et s'il avait plus de hauteur, on pourrait rapprocher beaucoup le volume d'air évacué par cette cheminée de celui qui serait introduit par le poêle.

On remarquera d'ailleurs que l'introduction de ce dernier volume, égal à peu près à trois fois celui de la salle, annule la rentrée d'air par les portes et par les fenêtres, puisqu'au contraire, ce qui ne s'échappait pas par la cheminée sortait par ces baies.

Dans l'une comme dans l'autre série d'expériences, exécutées sur ces deux modèles de poêles, la température de l'air chaud qu'ils fournissaient a été trop elevée. Elle a été pour le premier de 112 à 120°, et pour le second, de 82°.5, ce qui est encore plus élevé qu'il ne convient. Il y aurait donc aussi lieu d'augmenter les sections de passage de l'air que le poêle doit chauffer; on en accroîtrait le volume, en même temps qu'on en abaisserait la température, ce qui rendrait le chauffage plus salubre. C'est ce que les constructeurs ont reconnu.

Il faudra donc encore, pour ce modèle de poêle, augmenter le diamètre intérieur de l'enveloppe, de manière à réduire à 0^{m}.50 ou 0^{m}.60 la vitesse de circulation de l'air, entre le foyer en terre réfractaire et son enveloppe en faïence.

Chaleur utilisée pour la ventilation. — L'échappement de la fumée dans la cheminée y détermine, comme on l'a vu, une évacuation d'air vicié qui utilise la chaleur qu'elle emporte dans l'air.

L'expérience du 8 mars ayant été faite par une température assez basse, et après une suspension complète du chauffage de la salle, la cheminée était froide, et une partie de la chaleur de

la fumée a dû être employée à en réchauffer les parois. Mais, dans l'expérience du 9, ces parois échauffées la veille ont absorbé moins de chaleur, et une plus grande proportion a été utilisée pour l'appel.

Il n'est pas sans intérêt de se rendre compte dans quel rapport a été fait le partage.

Le volume total d'air évacué ayant été, dans cette expérience du 9, de $114^{mc}.87$, pris dans la salle à $21^{\circ}.4$, et sortis à $60^{\circ}.00$ par la cheminée, la quantité totale de chaleur versée dans l'air a été de $114^{mc}.87 \times 1.06\ (60^{\circ}.00 - 21^{\circ}.40) \times 0.237 =$ $1115^{cal}.50$

sur lesquelles, la fumée avait fourni, comme on l'a vu, $560^{cal}.37$

La chaleur communiquée à l'air évacué et utilisé pour la ventilation était donc d'environ . . . . . . $555^{cal}.13$

ou

$$\frac{555^{cal}.13}{560\ \ .37} = 0.98$$

de la chaleur versée dans la cheminée par la fumée.

Ce rendement si favorable doit être attribué à ce que la fumée, dans cette expérience, n'avait que la température de $113^{\circ}.60$, et celle de l'air évacué 60°. L'effet serait beaucoup moins favorable sans doute, si, comme cela arrive souvent, le feu avait été poussé trop fort, et la température de la fumée beaucoup plus élevée.

Conséquences générales de ces expériences. — L'on voit, par les résultats précédents, que les deux poêles en terre réfractaire de MM. Muller et Cie ont donné, au point de vue de l'utilisation du combustible, d'excellents résultats, et réalisé en moyenne 0.934 de la chaleur fournie par le coke, estimée à 7000 unités de chaleur par kilogrammes.

L'air qu'ils fournissent est encore un peu plus chaud qu'il ne conviendrait pour la salubrité. L'on a observé que la terre du creuset atteignait souvent la chaleur rouge sombre, et cependant le séjour prolongé dans la salle, qui n'a que 108 mètres cubes de capacité, n'a causé aucune incommodité analogue à celle qu'on éprouvait dans les expériences précédentes, quand elle était chauffée avec des poêles de fonte ou de fer.

La surface extérieure, en poterie émaillée, était toujours à une température assez basse pour qu'on put y tenir la main appliquée. Il sera d'ailleurs facile de modérer la température de l'air chaud fourni par les poêles de ce genre de construction, en augmentantant, comme on l'a indiqué plus haut, les sections intérieures de passage de cet air et le diamètre extérieur.

La grandeur donnée à la porte de ces poêles permet aussi de modérer l'activité du feu, quand il a été bien allumé, et jusqu'à un certain point de jouir de son aspect.

Le creuset, qui est la partie de ces appareils la plus sujette à des dégradations, est facile à remplacer.

En résumé, l'emploi exclusif de la terre réfractaire dans la construction des poêles d'appartements paraît une heureuse innovation, propre à rendre ce genre de chauffage moins insalubre, surtout si l'on y joint la disposition que nous avons indiquée pour prendre l'air à l'extérieur, et pour utiliser la chaleur emportée par la fumée à produire une ventilation modérée.

MÉMOIRE

SUR LA

DESSICCATION ARTIFICIELLE DES BOIS

APPLIQUÉE

SOIT AU CHAUFFAGE

SOIT A L'INJECTION DES TRAVERSES DE CHEMINS DE FER

PAR M. A. PAYEN.

I

Les méthodes proposées et employées jusqu'à ce jour, pour assurer la conservation des bois, peuvent être ramenées à l'une des suivantes :

1° Les enduits appliqués à la surface des bois pour les soustraire au contact de l'air et de l'humidité ;

2° L'immersion pure et simple, à l'air libre, dans un liquide antiseptique ;

3° La succion vitale ou la filtration, dont le procédé Boucherie est le type ;

4° L'injection, en vase clos, de liquides antiseptiques à l'aide de l'action successive du *vide* et de la pression ;

5° La dessiccation artificielle précédant l'injection en vases clos.

Nous avons en diverses occasions décrit plusieurs des procédés basés sur ces méthodes précitées, notamment celles dont

les procédés Boucherie et l'injection en vase clos sont restés les seuls types industriels adoptés; et encore, la préférence semble-t-elle avoir été jusqu'ici accordée à la méthode en vase clos, inventée par Bréant, perfectionnée par Bethell, et réalisée sous sa forme plus pratique et plus complète par MM. Legé et Fleury Pironnet, cette méthode d'ailleurs étant plus générale, en ce qu'elle s'applique aux bois anciennement abattus, indigènes ou importés de l'étranger.

Nous ne nous proposons pas de revenir aujourd'hui sur les procédés que nous venons de citer, et que nous avons décrits dans plusieurs Mémoires, dont un est inséré dans les *Annales du Conservatoire* [1]. On a fait, depuis lors, une seule modification à l'appareil Légé-Fleury-Pironnet, mais elle n'est pas sans importance; le cylindre en cuivre dans lequel l'injection s'effectue est maintenant ouvert aux deux bouts et muni de deux obturateurs à bascule. Il résulte de cette nouvelle disposition que l'on peut facilement effectuer à bras le chargement des traverses, qu'ainsi les rails intérieurs et les chariots se trouvent supprimés : la capacité libre est d'autant agrandie, en sorte que le cylindre, ayant $1^{m},66$ de diamètre et 6 mètres de longueur, reçoit quatre-vingt-dix traverses au lieu de soixante.

En réunissant deux cylindres semblables bout à bout, la longueur totale, doublée, est alors de douze mètres, et permet de placer dans ce double cylindre les poteaux télégraphiques ou toutes autres pièces de la même longueur.

Nous voudrions aujourd'hui faire connaître les différents procédés relatifs à la méthode de dessiccation par l'emploi des étuves spéciales. C'est à l'examen de ces *étuves* que nous nous attacherons plus particulièrement : nous en examinerons le mode de construction, le fonctionnement et les avantages, dans leurs applications soit à la conservation des bois par voie de dessiccation simple, soit à la dessiccation préalable des bois qui doivent être ultérieurement injectés par un des procédés connus; mais d'abord nous expliquerons les avantages de la dessiccation des bois de chauffage employés dans la métallurgie, les hauts fourneaux et dans d'autres industries.

1. Année 1861, volume I, page 692.

II

La présence de l'eau dans les bois, est, avec celle de l'air, au nombre des causes principales de la fermentation des matières organiques et, par suite, des diverses altérations et de la destruction du bois. Ces altérations lui enlèvent souvent une partie notable des matières organiques contenant du carbone et de l'hydrogène utiles comme combustibles; au même point de vue, l'eau hygroscopique contenue dans le bois, absorbant pour sa volatilisation une partie de la chaleur que développe la combustion de la substance ligneuse, diminue d'autant la puissance calorifique du bois de chauffage.

Pour se faire une idée nette de l'utilité que peut offrir la dessiccation du bois de chauffage, il faut comparer les quantités de chaleur utilisables obtenues, en brûlant du bois desséché, avec celles que l'on peut utiliser lorsque l'on emploie du bois mouillé ou rempli de séve.

Cette comparaison est facile à établir en prenant pour base la composition élémentaire moyenne du chêne, par exemple, et l'équivalent de carbone qu'il représente sous ces deux états.

100 de bois de chêne sec contiennent 50 de carbone, 6,20 d'hydrogène et 43,80 d'oxygène; à la puissance calorifique des 50 de carbone on doit ajouter l'équivalent que représente toujours l'excès d'hydrogène (un peu variable dans les différents bois) sur la quantité nécessaire pour former de l'eau avec l'oxygène que représente la composition du même bois. Cet excès dans le bois de chêne est de 0,630, équivalant au moins à 1,89 de carbone. On peut donc considérer, au point de vue de la puissance calorifique, 100 de bois de chêne sec comme équivalant à $50 + 1,89 = 51,89$ de carbone ou charbon pur.

Mais, pour apprécier la quantité de chaleur utilisable, il convient de déduire celle qui, dans la combustion, transforme en vapeur l'hydrogène uni à l'oxygène dans les rapports formant de l'eau. Ici cette eau de composition forme 50 pour 100 du poids total, pouvant absorber, pour être transformée en vapeur à la température de la combustion, une quantité de chaleur équivalente à 5 de carbone à déduire des 51,89; il reste, pour

100 de ce bois desséché, l'équivalent de 46,89 de carbone utilisable et représentant la puissance calorifique de la combustion de 100 de chêne sec.

Ainsi donc la combustion de 100 parties en poids de bois de chêne desséché fournira une quantité de chaleur disponible égale à celle que l'on obtiendrait de 46,89 ou près de 47 parties de charbon pur et sec.

Il nous sera facile de comparer, sous ce rapport, la chaleur disponible de la combustion de 100 du même bois mouillé : supposons que le chêne dans cet état contienne 0,45 de son poids d'eau ou 0,55 de substance sèche; 100 du bois desséché représentant 46,89 de carbone utilisable, 55 équivaudront à 25,79, d'où il faudra déduire 4,50 de carbone employé pour vaporiser les 45 d'eau de mouillage. 25,79 — 4,50 = 21,29. Ainsi donc la combustion de 100 de ce bois mouillé donnerait seulement la quantité de chaleur utilisable de 21,29 de carbone; donc, pour produire autant de chaleur que 100 de chêne desséché, il faudrait brûler 225 du même bois ainsi mouillé. Mais, indépendamment de cette perte considérable de chaleur, ce qui parfois serait plus grave, c'est que, dans certains cas, la fusion du verre, la fusion et la volatilisation du zinc, par exemple, constituant l'effet utile d'une industrie, il serait impossible d'atteindre ce but par la combustion du bois mouillé : car la chaleur utilisable ainsi développée pourrait compenser seulement les déperditions de chaleur des foyers, soit par les courants d'air et de gaz, entraînés dans la cheminée, soit par le rayonnement des parois extérieures des fourneaux. Aussi comprend-on que la dessiccation, presque toujours utile, du bois employé comme combustible devienne d'une nécessité absolue dans les opérations des verreries, des cristalleries et de la métallurgie. Cette dessiccation préalable offre de plus grands avantages encore, lorsqu'on peut l'effectuer à l'aide de la chaleur perdue qu'emportent, en sortant des fours, les produits gazeux de la combustion. Dans l'injection des bois par pression, l'élimination préalable de l'eau de mouillage permet au liquide antiseptique de prendre sa place. On comprend donc que l'expulsion plus ou moins complète de l'eau contenue dans le tissu ligneux serait utile à divers points de vue et remplirait une des conditions très-favorables à la conservation du bois comme à la péné-

tration des liquides antiseptiques, tels que les huiles lourdes des goudrons de houille, dites *créosote*, le sulfate de cuivre, etc.

Deux moyens se présentent pour opérer la dessiccation des différentes pièces de bois :

1° La dessiccation naturelle, par une longue exposition, à l'air libre, de ces pièces mises à l'abri des eaux pluviales;

2° La dessiccation artificielle dans des étuves particulières.

L'exposition des bois à l'air libre est un procédé de dessiccation tout à fait insuffisant au point de vue de la conservation; car, avec quelque précaution qu'il soit pratiqué et quel que soit le temps qu'on y puisse consacrer, il reste toujours dans les bois une quantité d'eau, à peu près égale à 15 à 20 pour 100, qui est parfois suffisante pour provoquer les différentes fermentations, l'attaque des insectes, des végétations cryptogamiques et amener la pourriture des tissus ligneux. Cette dessiccation est seulement convenable pour les bois de charpente, d'ébénisterie et de menuiserie, afin de les empêcher de changer de dimension ou de *jouer* quand ils sont mis en œuvre, à la condition de les soustraire ultérieurement à une humidité permanente.

La dessiccation artificielle assure mieux la conservation, car elle peut chasser du bois toute l'eau qu'il contient; cependant elle ne peut être efficace qu'à la condition que les bois, après y avoir été soumis, seront ensuite recouverts d'un enduit superficiel, afin d'empêcher la réabsorption, dans les tissus, de l'humidité atmosphérique.

III

D'un autre côté, la préparation des bois ou l'injection des liquides antiseptiques, par les procédés dits *en vase clos*, ne peut s'effectuer dans de bonnes conditions que si les bois se trouvent dans un état de dessiccation assez avancé pour permettre soit d'extraire, soit de refouler l'air dans les canaux séveux et les autres parties des tissus où les liquides injectés doivent pénétrer.

On comprend, en effet, que si l'on soumet des bois mouillés ou de coupe récente à l'injection, l'eau et les liquides séveux

qu'ils contiennent, pressés en tous sens, ne peuvent s'échapper; que, d'ailleurs, étant sensiblement incompressibles, ils ne peuvent faire place aux liquides antiseptiques refoulés par les pompes, quelle que soit la pression exercée sur eux.

L'injection en vase clos n'est donc industriellement praticable que sur des bois assez secs pour permettre d'extraire ou de refouler l'air ou les gaz et d'y substituer les liquides antiseptiques injectés par des pompes. L'expérience l'a surabondamment prouvé, et c'est ce qui explique la création des nombreux appareils de dessiccation artificielle qui ont été proposés dans ce but. Cependant, malgré les avantages qu'on était en droit d'en attendre, l'usage des appareils de dessiccation a été fort long à se généraliser. On ne peut en trouver la raison que dans leur imperfection même : soit que le prix de leur construction fût trop élevé, soit que le temps nécessaire à la dessiccation dans ces appareils fût trop considérable, soit enfin que le prix de revient de l'opération elle-même fût trop dispendieux. Toujours est-il que c'est seulement depuis quelques années que la dessiccation artificielle des bois, préalablement à leur injection en vase clos, est entrée dans le domaine de la pratique, et cela, sans doute, grâce à de nouveaux appareils que nous examinerons plus loin.

Avant cette époque, on était obligé de laisser les bois, et plus spécialement les traverses de chemins de fer, exposés à l'air libre pendant des périodes de quatre à huit mois, suivant les saisons, avant de pouvoir les préparer. Cette nécessité était des plus onéreuses; car, indépendamment des pertes d'intérêts causées par l'immobilisation des capitaux durant ces lentes dessiccations spontanées, et de celles dues à l'altération des bois par suite d'une longue exposition à l'air plus ou moins humide, elle entraînait encore l'emploi de vastes chantiers d'approvisionnements, des manutentions coûteuses et parfois des transports multipliés et ruineux.

On conçoit dès lors l'intérêt puissant qui s'attache à cette question de la dessiccation des bois, et c'est ce qui nous a conduit à compléter l'étude précédente des procédés de conservation par celle des appareils servant à opérer la dessiccation artificielle.

Les tentatives faites pour dessécher les bois au moyen de la

chaleur artificielle remontent à une époque assez éloignée : *Wollaston* et *Fourcroy* recommandaient de faire sécher les bois dans des fours. Un chimiste allemand, *Newmann*, a employé le premier un procédé dont on retrouve plus tard l'application sous une autre forme : nous voulons parler de la vapeur d'eau.

Newmann plaçait les bois à dessécher dans une grande caisse de bois, en prenant la précaution d'espacer les pièces entre elles; puis il introduisait dans cette caisse de la vapeur d'eau provenant d'une chaudière affectée à sa production, et de temps à autre il laissait écouler, par un robinet placé à la partie inférieure de la caisse, la vapeur condensée chargée d'albumine végétale et de séve, puisées dans les tissus ou plutôt enlevées à la superficie des bois. On jugeait de la marche de l'opération d'après la coloration de l'eau de condensation écoulée au dehors.

Quand l'eau était entièrement limpide et incolore, on ouvrait la caisse, on retirait le bois et on le livrait à l'industrie sans lui faire subir d'autre opération. Cette méthode aurait pu avoir des résultats favorables si l'on avait fait usage d'un courant de vapeur surchauffée qui aurait pu dessécher le bois en se saturant d'eau elle-même; mais le prix de cette dessiccation eût, sans doute, été trop élevé pour une application industrielle.

M. de Mecquenem imagina, en 1837, un système de dessiccation des bois qui consistait à placer les pièces à dessécher dans une chambre close, où elles étaient soumises à l'action d'un courant d'air, chauffé dans un appareil spécial et insufflé dans l'étuve à l'aide d'une machine soufflante. L'air chaud pénétrait à la partie inférieure de la chambre et s'échappait, chargé de l'eau vaporisée extraite des bois, par des tuyaux placés au sommet de cette chambre.

En 1839, *M. Charpentier* prit un brevet d'invention dans lequel il indiquait l'emploi d'une chambre hermétiquement close pour recevoir les bois à dessécher. Là, ils étaient exposés à l'action de l'air chauffé par son passage sur des plaques métalliques recouvrant, sur une grande longueur, les carneaux d'un four à coke; à sa sortie de l'appareil de chauffage, l'air se répandait dans quatre conduits longitudinaux disposés sur le sol intérieur de l'étuve, et d'où il s'échappait ensuite, par des orifices ménagés à cet effet dans les conduits.

Les vapeurs formées et l'air chargé d'humidité trouvaient une issue dans quatre autres conduits longitudinaux placés à la partie supérieure de l'étuve et communiquant avec la cheminée du four à coke, qui faisait appel.

En 1848-1853, *Bethell* qui, comme on le sait, s'est beaucoup occupé de la conservation des bois et d'autres substances végétales, a signalé à plusieurs reprises, dans les nombreux brevets qu'il a pris en Angleterre et en France, l'emploi des étuves pour la dessiccation des bois.

Ainsi on trouve dans sa patente anglaise de 1848, et, plus tard, dans un brevet français de 1853, la description d'une étuve spéciale.

C'est une chambre rectangulaire en briques, formée par trois murs offrant, dans toute leur épaisseur, un espace rempli de cendres afin d'éviter les refroidissements; la même construction est adoptée pour la voûte qui clôt la chambre à sa partie supérieure.

Une des extrémités de l'étuve est laissée libre pour permettre l'entrée des bois dont est chargé un wagonnet roulant sur des rails longitudinaux; à l'aide d'une porte double, en fer, on ferme l'étuve lorsque les bois y sont introduits.

A l'extrémité opposée à la porte d'entrée se trouve extérieurement un foyer, sur la grille duquel on brûle du coke, de la houille, du bois, du goudron, suivant que l'on veut opérer simplement la dessiccation des bois placés dans l'étuve, ou que, suivant l'expression de l'inventeur, on veut les « *fumer*, » c'est-à-dire les imprégner de la fumée et des gaz antiseptiques résultant de la combustion incomplète de certaines matières goudronneuses.

Dans tous les cas, les produits de la combustion sortant du foyer circulent d'abord dans un carneau central ou médian construit au niveau du sol, et qui se bifurque près de la porte d'entrée en deux carneaux; ceux-ci ramènent la fumée vers le fond de la chambre, où elle se répand à travers les bois, par deux orifices ménagés au bout de ces deux carneaux.

La fumée et les gaz chauds traversent alors la chambre d'une extrémité à l'autre et de bas en haut, pour s'échapper, ainsi que la vapeur d'eau dont ils se sont chargés, par un canal aboutissant d'une part au sommet de la voûte et, d'autre part, soit à

une cheminée d'appel, soit à un appareil d'aspiration mécanique, tel qu'un ventilateur.

Bethell dit que la température intérieure de l'étuve doit être maintenue à 110° Fahrenheit environ, et que la durée de l'opération varie suivant l'état des bois à leur entrée dans l'appareil.

Or, il paraît résulter des expériences qui furent faites par Bethell, que le temps nécessaire à la dessiccation par l'emploi de son étuve variait de huit à douze heures. Il est certain que cette rapidité dans les opérations était due à une dépense relativement considérable de combustible. En effet, l'appel puissant qu'employait Bethell donnait au mouvement des gaz chauds, dans l'intérieur de l'étuve, une vitesse telle qu'elle ne permettait pas l'utilisation complète de leur calorique, et que ces gaz devaient s'échapper de l'étuve à une température peu inférieure à celle de leur entrée dans l'étuve, à la sortie des carneaux. En réalité, la quantité de chaleur provenant du combustible brûlé était mal utilisée, et il est permis de douter que la dessiccation de pièces de bois de fortes dimensions, telles que des traverses de chemins de fer, par exemple, pût être effectuée complétement et dans de bonnes conditions dans un laps de temps de huit à douze heures. Ce résultat ne pouvait être obtenu qu'à l'aide d'une trop forte température qui alors avait pour effet de faire fendre les bois et d'amoindrir leur résistance.

Cette appréciation se trouve du reste confirmée par les expériences nombreuses qui furent faites à Londres, vers 1852 et 1853, sur les appareils d'une société industrielle nommée « *Dessicating Company.* »

Le procédé exploité par la « Dessicating Company. » consistait à placer les bois dans une grande chambre close, pouvant contenir environ 1000 mètres cubes. L'air chauffé dans un appareil Taylor, semblable à ceux employés dans la métallurgie du fer, était chassé à travers le bois par un ventilateur, mais avec une faible vitesse et en quantité suffisante pour que l'atmosphère de la chambre fût complétement renouvelée dans l'espace de trois à quatre minutes.

C'était, comme on le voit, l'idée de M. de Mecquenem, appliquée sur une très-grande échelle.

Les constatations faites à cette époque établirent que la consommation du charbon de terre était à peu près de 9 hectolitres

par vingt-quatre heures. Quant à la durée de l'opération et à la température de l'air insufflé, elles variaient suivant la nature et l'état des bois, ainsi que le montre le tableau ci-dessous[1] :

NATURE du bois.	Épaisseur du bois.	Poids primitif.	Poids desséché.	Perte de poids en eau.	Température centigrade.	Durée de l'opération.	Durée de la dessiccation naturelle.
Sapin d'Écosse...	0.075	55.40	36.8	18.60	45 à 50°	15 jours.	2 ans.
Chêne anglais....	»	100.4	78.20	22.20	»	16 —	3 ans 1/2.
Orme..........	»	82.80	46.13	36.67	»	15 —	2 ans.
Frêne..........	»	59.00	49.50	9.50	»	15 —	2 ans.
Traverse de sapin pour les chemins de fer.........	»	»	»	»	55 à 60°	7 —	»

Il résulte de l'examen des chiffres de ce tableau que la durée nécessaire pour opérer la dessiccation complète des bois, sous l'influence d'un courant d'air chauffé à une température de 45 à 60°, est en moyenne de quinze jours. Le peu d'élévation de la température, la durée de l'opération, paraissent donc être les meilleures conditions de succès de la dessiccation artificielle, quand il s'agit de bois destinés à la menuiserie, au charronnage, à la charpente, à l'ébénisterie, pour lesquels il faut éviter, autant que possible, les fentes, les déformations et l'altération de la structure et de la solidité du bois.

L'écart qui existe entre les chiffres du tableau précédent et ceux donnés par Bethell prouve que, même en tenant compte de la différence des conditions dans lesquelles la dessiccation doit être obtenue eu égard à la destination des bois, l'appareil Bethell ne pouvait donner des résultats satisfaisants dans les limites de température et de durée qu'il indique, comme cela a été, du reste, reconnu plus tard par l'emploi d'appareils perfectionnés et dans lesquels la chaleur était bien mieux utilisée.

Nous devons citer encore l'étuve imaginée en 1861 par M. *Guibert*, mécanicien à Tourlaville, près Cherbourg, pour le séchage des bois destinés à la marine, à la charpente, à la menuiserie, à l'ébénisterie, etc., et celle dont on trouve la description dans

1. Extrait du rapport de M. Molinos sur les *Procédés de conservation des bois*, déposé à la Société des Ingénieurs civils, en février 1851.

un article intitulé : *De l'imprégnation des traverses de chemins de fer*, signé C. Reuther et extrait d'une brochure allemande : *Organe des progrès de l'industrie des chemins de fer*, publiée en 1860.

L'étuve de M. Guibert se rapproche, par tous ses points essentiels, de celle décrite par Bethell dans sa patente anglaise de 1848.

L'étuve proprement dite est construite en briques et pourvue d'un carneau, en communication avec un foyer spécial placé en dehors et sur un des côtés de l'étuve sous une hotte mobile.

Les produits de la combustion dans le foyer passent par le carneau et se répandent dans toute l'étuve; ils s'en échappent par des orifices pratiqués à la partie supérieure de la chambre et sont réunis par des conduits collecteurs, qui aboutissent à un ou plusieurs ventilateurs aspirateurs placés à l'extrémité de l'étuve.

Ces ventilateurs ont pour but d'aspirer la fumée de la partie supérieure, qui naturellement est la plus chaude, et de la renvoyer dans l'étuve à la partie inférieure, en la faisant déboucher par les orifices pratiqués en grand nombre dans deux carneaux horizontaux, ménagés sous le sol.

Les bois, convenablement espacés, sont portés par un wagon roulant sur un chemin de fer qui se prolonge dans le chantier; on les introduit dans l'étuve, puis on referme la porte qu'on lutte avec de l'argile afin d'empêcher les rentrées d'air extérieur. Le foyer est chargé de sciure de bois, de houille, de tannée, de bois vert ou de tout autre combustible produisant beaucoup de fumée, qui remplit l'étuve, entoure le bois et lui enlève son humidité, en l'imprégnant des principes conservateurs du goudron de bois : le mouvement de cette fumée, produit par les ventilateurs, a pour but de maintenir une température à peu près uniforme dans toutes les parties de l'étuve.

Quant aux vapeurs aqueuses provenant du séchage des bois, elles sont enlevées à des moments donnés par des cheminées d'appel disposées à cet effet.

Comme nous l'avons dit, cette étuve est dans ses dispositions et dans son but entièrement conforme à celle que Bethell conseillait dans sa patente de 1848. Elle opère non-seulement le séchage, mais surtout le *fumage* des bois; ce qui, suivant l'idée

de l'inventeur anglais, devait être un moyen de conservation suffisant.

C'était, comme on le voit, une méthode analogue à celle de la conservation de diverses substances animales et végétales par les produits goudronneux que contiennent les fumées des différents combustibles.

L'étuve allemande décrite par *Reuther*, en 1860', était construite en vue de la dessiccation des traverses de chemins de fer destinées à être injectées ensuite avec la *créosote*, c'est-à-dire l'huile lourde de la distillation fractionnée du goudron de houille.

Les traverses, placées sur un wagon roulant sur un chemin de fer, sont introduites dans l'étuve par une porte unique que l'on ferme ensuite soigneusement.

Les produits de la combustion dans les deux foyers placés en avant-corps, au bout de l'étuve opposé à la porte d'entrée, circulent dans deux carneaux qui leur font suite, et sont disposés au pied de chacun des deux murs latéraux dans l'intérieur de l'étuve. Ces deux carneaux sont recouverts de plaques en fonte qui chauffent par contact l'air atmosphérique intérieur de la chambre.

A l'extrémité de chaque carneau, et près de la porte d'entrée, sont deux conduits verticaux ménagés dans l'épaisseur des murs; ils aboutissent dans l'espace vide qui règne dans toute l'épaisseur de la voûte, laquelle est surmontée à ses deux extrémités de deux cheminées.

Avant l'introduction des bois dans l'étuve, on ouvre les deux orifices situés au bout des carneaux, afin que la fumée et les gaz chauds se répandent dans la chambre et y élèvent la température; puis ces gaz chauds trouvent une issue par l'ouverture pratiquée au sommet de la voûte; ils s'échappent dans l'espace vide, et de là dans l'atmosphère, par une des deux cheminées.

Au commencement de l'opération, on ferme la première cheminée par un registre, afin que les produits de la combustion se rendent directement des carneaux à la deuxième cheminée, par les conduits verticaux et l'espace libre. Lorsque la voûte est suffisamment échauffée, on ferme la deuxième cheminée et l'on ouvre la cheminée placée du côté de la porte d'entrée.

La durée de la dessiccation est de vingt-quatre heures, l'étuve

fonctionnant jour et nuit ; on élève graduellement la température jusqu'à 100°. Si, au contraire, les circonstances exigent une marche plus rapide, douze heures par exemple, la température doit être constamment maintenue à 100°. Cependant l'auteur recommande de ne pas employer cette dernière méthode, car elle a pour résultat, comme toute dessiccation trop précipitée, de faire fendre les bois et de les rendre cassants.

Dans tous les appareils que nous venons de citer, l'introduction des gaz, de la fumée ou de l'air chaud, a lieu par la partie inférieure de l'étuve, et la sortie de ces gaz et de la vapeur d'eau extraite des bois s'effectue par la partie supérieure.

Cette disposition de l'écoulement des gaz est vicieuse en ce que l'air ou les gaz chauds introduits dans le séchoir, étant à une température supérieure à celle de l'atmosphère intérieure, montent directement vers la partie supérieure, par laquelle ils s'échappent sans avoir eu le temps de se saturer de l'humidité contenue dans les bois.

Péclet, dans son *Traité de la chaleur*, tome II, chap. VI, a signalé avec la plus grande précision la défectuosité de cette disposition, et il conseille énergiquement de renverser le sens du mouvement des gaz en les faisant arriver par la partie supérieure, pour leur donner ensuite une issue par des orifices placés au niveau du sol et aboutissant à des cheminées d'appel extérieures.

A cet effet, il rappelle qu'en 1822 M. Ternaux appliquait cette disposition dans un séchoir à vermicelle, établi à Saint-Ouen, et qu'il obtint une dessiccation beaucoup plus rapide.

« Ainsi, dit-il, nous admettons comme une condition d'une grande importance, que l'issue des vapeurs doit toujours être pratiquée au niveau du sol du séchoir. Cette circonstance, qui s'oppose à la stagnation de l'air dans certaines parties du séchoir, est en même temps très-favorable à la saturation de l'air chaud; car l'air chaud se meut rapidement quand il s'élève dans un milieu plus dense, et au contraire il chemine lentement et se distribue uniformément quand il marche de bas en haut[1]. »

1. On pourrait ajouter, je crois, qu'un autre effet des plus favorables à l'économie du combustible se produit dans ce cas : la vapeur sort de l'étuve à l'état

Partant de ce principe, Péclet proposait les dispositions suivantes pour la dessiccation des bois et de la tourbe :

« Deux galeries parallèles un peu allongées, ayant chacune à la partie inférieure un foyer et des tuyaux horizontaux placés au-dessous du sol, que la fumée parcourrait simultanément et successivement, mais de manière à répartir la chaleur le plus uniformément possible sur le fond des galeries.

« Chacune des galeries serait fermée aux deux extrémités par des portes doubles en tôle et renfermerait, au niveau du sol et prolongés au dehors, deux rails qui porteraient des wagons en fer sur lesquels le bois serait placé de manière à remplir la plus grande partie de la galerie. Les fumées des deux foyers se rendraient dans une cheminée commune d'une grande section et garnie à son sommet d'un registre destiné à régler le tirage. Les murailles voisines des deux galeries formeraient un espace fermé ; au milieu se trouverait la cheminée qui communiquerait par le bas avec chacune des galeries au moyen d'orifices garnis de registres ; de chaque côté de la cheminée, à la partie inférieure, seraient placés les foyers. »

Le projet de séchoir imaginé par Péclet, que nous venons de citer, fut mis en œuvre quelques années plus tard à l'usine de Graffenstaden ; elle offrait des rapports intimes avec celle de Péclet.

Le séchoir établi à l'usine de Graffenstaden est de forme trapézoïdale ; il comprend six chambres d'étuvage semblables, chauffées par sept foyers, et formant deux corps de bâtiment séparés par un large couloir.

Les vapeurs développées s'échappent, au fur et à mesure de leur production, par des orifices latéraux placés au niveau du sol et aboutissant à des cheminées d'appel en bois, qui les élèvent au-dessus du bâtiment.

Chaque fourneau est formé d'un foyer ordinaire muni de sa grille et de son cendrier.

Ce fourneau est suivi d'un long conduit horizontal en briques, hermétiquement clos, qui se bifurque et retourne sur lui-même

globulaire ou de brouillard d'eau très-divisée, entraînant ainsi une quantité de chaleur cinq fois et demie moindre qu'à l'état gazéiforme pour le même degré de température, c'est-à-dire à près de 100°.

pour venir déboucher dans une cheminée verticale en tôle située en dehors du séchoir et à côté du foyer. La longueur du foyer est telle que les gaz chauds s'échappent dans la cheminée à une basse température.

Les bois à dessécher sont placés, à bras, sur des chevalets disposés au-dessus des conduits, et le tirage des foyers est réglé au moyen de registres convenablement disposés.

On chauffe nuit et jour, et la durée de la dessiccation varie de dix à vingt jours, selon la nature et les dimensions des bois. Quant à la température à maintenir dans l'étuve pour opérer convenablement le séchage, elle est, suivant l'expérience, de 40° pour le chêne et de 50° pour le sapin; ces chiffres ne sont pas cependant absolus, car ils doivent nécessairement varier avec l'état d'humidité des bois.

Il est facile de se convaincre, par ce qui précède, que l'étuve de Graffenstaden n'est que la réalisation pratique de l'étuve Péclet, et on peut par suite se faire une idée des résultats qu'on aurait pu obtenir avec celle-ci par la lecture de ceux que donne celle-là.

Construite en vue du séchage des bois à mettre en œuvre, elle doit produire et ne peut produire en effet qu'une dessiccation fort lente, afin d'éviter les fendillements et le *travail* du bois.

Elle ne pourrait, dans aucun cas, convenir à la dessiccation économique des traverses de chemins de fer destinées à être injectées, en raison même de la lenteur de son mode d'action.

En 1851, *M. Imbert* prit un brevet d'invention pour un système d'étuve relatif au séchage des bois destinés à servir de combustible dans les foyers métallurgiques, verreries, etc., et en vue de remplacer les chambres vulgairement appelées carquaisses, dans lesquelles la dessiccation se faisait imparfaitement et à grands frais.

Cette étuve se compose d'une longue galerie sur le sol de laquelle sont disposés deux rails servant de chemin aux wagons chargés de bois qui circulent dans l'étuve.

Le sol est entièrement couvert de carreaux ou de plaques métalliques fermant les trois conduits longitudinaux, qui aboutissent d'un côté à la cheminée d'un petit foyer placé à plusieurs mètres au-dessous du sol, dans une cave voûtée.

Les bois chargés sur les wagons entrent par une porte, parcourent la galerie dans toute sa longueur et sortent par la porte opposée, près de laquelle les produits de la combustion, air et gaz chauds provenant du foyer, pénètrent dans l'étuve par un certain nombre d'orifices pratiqués dans les plaques, après qu'ils ont parcouru la cheminée et les carneaux dans toute leur longueur.

Ces gaz chauds se répandent alors dans la galerie et s'échappent à l'extérieur par un orifice pratiqué à la partie inférieure de la porte d'entrée.

Lorsque le bois placé sur le wagonnet le plus proche de la porte de sortie est jugé suffisamment sec, on retire ce wagonnet de l'étuve et on en introduit un autre chargé de bois frais par la porte d'entrée, en repoussant tous les autres wagons. Or, la température de l'étuve est plus basse près de la porte d'entrée des bois par laquelle s'effectue la sortie des gaz chargés d'humidité, que près de la porte de sortie à côté de laquelle les gaz les plus chauds pénètrent dans l'étuve en sortant des carneaux; il s'ensuit donc que le bois s'avance en sens contraire du mouvement des gaz dans l'étuve, et qu'il passe successivement par des températures croissantes depuis son entrée jusqu'à sa sortie.

Cette idée de faire circuler les bois dans l'étuve, en contact avec les gaz chauds du foyer et en sens contraire de leur mouvement, fut du reste recommandée plus tard par M. Lechâtelier, ingénieur en chef des mines, dans un travail qu'il présenta, en 1853, à la Société des ingénieurs civils.

M. Lechâtelier proposait pour la dessiccation des traverses de chemins de fer, destinées à être injectées par les procédés connus à cette époque, l'emploi d'une disposition de four analogue au four continu employé pour recuire le verre. C'était une longue galerie dans l'intérieur de laquelle les bois, chargés sur des chariots, auraient été amenés lentement en sens contraire du mouvement de la flamme ou des gaz chauds, vers le point où ils doivent atteindre le maximum de température. Lorsque le bois serait arrivé au point convenable de dessiccation, on l'aurait retiré en le faisant sortir par une porte placée à une extrémité, tandis que d'autres pièces de bois à déssécher

auraient été immédiatement introduites par une porte placée à l'autre extrémité.

M. Lechâtelier estimait que l'opération serait conduite avec la plus grande facilité, et qu'avec un four semblable, de 100 mètres de long sur 2 mètres de côté, on pourrait dessécher jusqu'à 500 stères de bois par vingt-quatre heures.

IV

De tous les appareils que nous venons de décrire, ceux qui sont destinés au séchage des bois de construction ou des bois de chauffage, c'est-à-dire fonctionnant par dessiccation lente, paraissent être les seuls qui aient reçu la consécration d'une réalisation pratique et industrielle.

Quant aux étuves ou appareils conçus plus spécialement en vue du séchage des bois devant être ensuite imprégnés de liquides antiseptiques dans le but d'assurer leur conservation, ils semblent n'avoir été l'objet que de tentatives ou d'essais, non suivis d'une mise en pratique régulière et longtemps continuée.

Ce fait ne peut s'expliquer que par les raisons que nous donnions au commencement de ce mémoire, puisque plus tard, vers 1863, l'apparition d'un nouvel appareil vint généraliser l'emploi de la dessiccation en vue de la conservation des bois, et permettre l'application, presque générale aujourd'hui, de cette importante opération.

C'est ce nouveau système qu'il nous reste à examiner : nous le décrirons avec l'étendue et les détails que comporte l'intérêt qui s'y attache en raison des progrès accomplis et des dispositions nouvelles que présente sa construction.

Ainsi que nous l'avons expliqué précédemment, l'injection en vase clos n'est possible qu'à la condition d'employer des bois débités et amenés à un degré de dessiccation suffisant pour que la plus grande partie de l'eau des liquides séveux en ait été extraite.

Le développement rapide que prit, il y a environ quinze ans, la création des lignes ferrées en France et à l'étranger, rendit bientôt presque impossible la faculté de se procurer des traverses de chemins de fer assez sèches pour être soumises efficacement

à l'injection; d'un autre côté, il était important de satisfaire aux demandes faites de toutes parts, surtout pour la construction des voies espagnoles.

Ce fut alors, en 1863, que *M. Blythe*, manufacturier anglais, qui pratiquait à Bordeaux et dans les Landes l'industrie de l'injection des bois au sulfate de cuivre sur une très-grande échelle, eut l'idée de recourir à la dessiccation artificielle préalable des traverses, et qu'il imagina les dispositions de l'appareil dont l'usage est aujourd'hui généralement répandu.

La première étuve construite par M. Blythe dans son chantier de Bordeaux est représentée par les fig. 1, 2, 3, 4 de la planche LXXI.

La fig. 1 est une section longitudinale suivant la ligne 1, 2 de la fig. 2.

La fig. 2 est une coupe horizontale faite suivant la ligne 3, 4 de la fig. 1.

La fig. 4 est une section transversale suivant la ligne 5, 6, 7, 8 de la fig. 2.

Cette double étuve est composée de deux chambres rectangulaires A et A ayant chacune $3^m,25$ de largeur intérieurement, 12 mètres de longueur et $2^m,50$ de hauteur.

Les deux murs de clôture B et B′ et la cloison séparatrice B^2 sont construits en briques et reposent sur trois massifs en maçonnerie C, C′, C^2 servant de fondation. Deux voûtes en briques D et D′ ferment les chambres à leur partie supérieure, et leur poussée contre les murs sur lesquels elles s'appuient est équilibrée par des tirants en fer *a* se reliant de chaque côté à des ancres ou armatures métalliques E, E, dont le pied est scellé dans le sol.

Une toiture en tuiles recouvre le tout et permet l'écoulement des eaux de pluie.

Dans l'épaisseur des parois B et B′ et de la cloison séparatrice B^2, on a ménagé des vides $b\ b'\ b^2$ ayant 7 à 8 centimètres de largeur, qui existent sur toute la longueur et sur toute la hauteur de ces murs. Ils communiquent avec la partie inférieure des chambres par de petits ouvreaux *c*, *c*, et à leur partie supérieure ils aboutissent à de petites cheminées G. Enfin les chambres sont pourvues à chacune de leurs extrémités de portes doubles en fer ou en bois garnies de feutre et de tôle galvanisée.

Dans chaque galerie et entre les massifs de fondation C, C′, C^2,

sont placés parallèlement, et à égale distance de l'axe longitudinal, deux petits murs en maçonnerie H sur lesquels reposent deux rails à patin *d* destinés à recevoir les roues des wagonnets V chargés des bois que l'on veut dessécher. Sur ces deux murs s'appuie une petite voûte surbaissée *f* faisant suite aux autels des deux foyers F, qui prennent place entre les rails aux extrémités de chaque chambre.

Ces foyers sont munis d'une grille et d'un cendrier et recouverts d'une voûte (*g*), en briques réfractaires, qui se prolonge au delà de l'autel et assez avant dans l'étuve pour dépasser la longueur maximum des flammes provenant de la combustion du coke brûlé dans les foyers.

Dans le prolongement des murs latéraux des foyers et s'appuyant sur les massifs H sont, en dedans des rails, deux petites cloisons *m*, *m'* parallèles, et qui règnent sur toute la longueur de l'espace compris entre les foyers. En outre, une troisième cloison *n* est placée sur la voûte *f*, au milieu des deux autres, et se raccorde aux deux bouts avec les orifices des foyers afin de former pour chacun de ces foyers un carneau MM' séparé, et empêcher le mélange des produits de la combustion effectuée dans les 2 foyers; des plaques de fonte J, laissant entre elles un petit intervalle, sont placées transversalement sur les cloisons *m*, *m'* et *n* et ferment les carneaux.

Voici maintenant comment fonctionne l'appareil :

Les bois étant chargés sur les wagonnets V, ceux-ci sont introduits au nombre de quatre dans chaque chambre, puis on ferme les portes [1].

Les produits de la combustion se rendent des foyers dans les carneaux M et M, d'où ils s'échappent en divers points de leur longueur par les intervalles entre les plaques de fonte et par de petits ouvreaux ou orifices *p*, ménagés dans les cloisons *m*, *m'*, etc.

En raison de leur faible densité ces gaz chauds s'élèvent verticalement vers le sommet des voûtes, en circulant à travers les bois et en entraînant l'eau réduite en vapeur.

1. Les portes en tôle pouvant être attaquées par l'acide sulfureux mêlé d'acide sulfurique produit par la combustion du proto-sulfure de fer que le coke contient, il serait bon de plomber ces portes sur toute leur surface interne ainsi que toutes les armatures en fer.

Mais en se chargeant de l'eau vaporisée ils se refroidissent, et sont dès lors sollicités à redescendre le long des parois plus froides que le milieu des chambres : parvenus à la partie inférieure, ils trouvent une issue dans les espaces vides *b*, *b'*, *b²* par les orifices *c*, pour s'échapper ensuite dans l'atmosphère par les cheminées G. Les flèches tracées sur le dessin indiquent d'ailleurs ce trajet.

Il résulte de ce qui précède que les gaz et l'air chaud fournis par les foyers entrent dans l'étuve et en sortent en divers points de sa longueur; ils circulent continuellement ainsi et peuvent maintenir dans toute la longueur de la chambre une température sensiblement uniforme, qui, cependant, est un peu plus élevée vers le milieu qu'aux extrémités à cause des refroidissements occasionnés par le contact avec les portes [1].

Chaque wagon reçoit 100 traverses, et selon la dimension des cylindres d'injection, il faut employer la charge de un ou deux wagons pour emplir un cylindre.

Dans le chantier de Bordeaux, où le cylindre peut contenir deux cents traverses, on retire simultanément un wagon de chaque chambre et on en introduit immédiatement deux autres par le bout opposé en repoussant les trois wagons restants. Si l'on pratique quatre opérations d'injection par jour, on voit que les deux étuves sont vidées complétement dans la journée; mais comme on chauffe également toute la nuit, il en résulte que chaque wagon séjourne vingt-quatre heures dans l'étuve dans laquelle on maintient une température de 90 à 100° en moyenne.

La construction d'une étuve double du genre de celle que nous venons de décrire coûte environ 8,000 francs, et le prix de revient de l'étuvage de chaque traverse, en y comprenant la dépense de combustible, les émoluments du chauffeur, les frais

1. Sans doute quelques perfectionnements pourraient encore être apportés à l'ingénieux appareil de M. Blythe. L'évacuation régulière de l'air chargé de vapeurs aqueuses par les petites cheminées d'évacuation serait mieux assurée suivant l'idée émise par le général Morin, si ces cheminées étaient réunies en une seule, d'une section suffisante et d'une hauteur de 8 à 10 mètres, et si l'évacuation était réglée dans l'étuve par des registres placés au bas de chacune des petites cheminées partielles. Nous devons ajouter que dans l'étuve Blythe il y a des registres ou petits clapets en fer placés devant chacun des ouvreaux *c*, afin d'augmenter ou de diminuer à volonté la section.

de manutention, chargement et déchargement des wagons, l'intérêt et l'amortissement du capital, est de 0f.07c.

Voici les détails du prix de revient de la dessiccation à Bordeaux :

Combustible coke, 1 kilogr. par traverse	0f,035
Manutention, chargement et déchargement	0f,020
Frais généraux, intérêt et amortissement	0f,015
Prix de revient d'une traverse	0f,070

La création de ces étuves a donné la possibilité d'injecter des traverses n'ayant que quelques jours d'abattage, non pas que cette opération procure une dessiccation complète, dans l'acception propre du mot; mais elle a pour effet de chauffer les bois à un degré tel, que la plus grande partie de l'eau contenue dans les canaux séveux est évaporée, qu'en un mot, les pores des tissus ligneux sont dilatés, ouverts et prêts à absorber avec facilité les dissolutions antiseptiques qui doivent assurer leur conservation; de plus, la chaleur peut sans doute, à la température de 90 à 100°, détruire la vitalité des germes de microphytes et de microzoaires, agents des fermentations alcooliques, acides et putrides, qui concourent aux principales altérations des bois.

La disposition d'une étuve à double chambre n'est pas indispensable, elle ne doit même être employée que dans le cas où l'on emploie des cylindres de grandes dimensions permettant d'injecter à la fois un grand nombre de traverses; or ces cylindres ne sont adoptés que pour les chantiers fixes, permettant une grande agglomération de bois sur un même point. Dans la plupart des cas, les cylindres sont de dimensions moindres; on se contente alors de construire une chambre simple d'une longueur variable, suivant la quantité de bois à injecter journellement.

Telles sont les étuves, récemment établies par M. Blythe dans plusieurs de ses chantiers et dans ceux des industriels qui ont adopté ses procédés.

Ces derniers appareils présentent, parfois, dans leur construction quelques modifications d'ordre tout à fait secondaire, qui n'altèrent en aucune façon à nos yeux les caractères propres à la conception primitive.

Ces modifications ont trait notamment à la nature des maté-

riaux employés et à la construction des carneaux qui font suite au foyer, et dans lesquels circulent les produits de la combustion avant de pénétrer dans l'étuve.

Afin d'éviter la détérioration rapide des plaques de fonte employées dans la première étuve, M. Blythe a eu l'idée de recouvrir ses carneaux avec des carreaux en briques creuses, qui résistent davantage au contact incessant des gaz brûlants sortant des foyers; de même, pour éviter l'usure des cloisons en briques pleines qui ne tardent pas à se détériorer, il les a remplacées par des cloisons en briques creuses, plus réfractaires, et dont l'emploi s'est généralisé depuis quelques années; ces dernières se détruisent moins rapidement parce qu'elles sont continuellement rafraîchies par le courant d'air qui les traverse, en passant par les orifices ci-dessus indiqués[1].

L'emploi de ces matériaux, dont les dimensions sont restreintes, eut pour conséquence immédiate l'obligation d'augmenter le nombre des petites cloisons intermédiaires, afin d'offrir des points d'appui suffisamment multipliés aux carreaux ou tuiles plates recouvrant les carneaux.

En se reportant à la figure 5, planche LXXI, qui représente en section transversale la disposition actuellement adoptée par M. Blythe, on voit que les deux murs D et D, supportant les rails, existent toujours; la voûte *f* est supprimée et remplacée par une plate-forme composée de carreaux ou tuiles creuses *r*, reposant, à cause de leurs dimensions, sur trois petits murs *s'* également en briques creuses.

Au-dessus de ces petits murs sont les trois cloisons m, m', m^2, comme dans l'étuve primitive; elles sont construites en briques creuses, et comme les carreaux x qui recouvrent les carneaux n'ont pas une longueur suffisante pour porter à la fois sur les cloisons latérales et sur la cloison médiane, on a intercalé deux autres petites cloisons $p\,p'$ qui rapprochent les portées et permettent l'emploi des carreaux x.

Chacun des grands carneaux primitifs contigus de chaque foyer se trouve donc divisé, comme on le voit, par la coupe

1. Elles seraient plus résistantes encore si on les confectionnait avec des mélanges magnésifères, tels que ceux indiqués par M. Henry Sainte-Claire Deville, ou semblables aux briques creuses fabriquées par M. Muller.

verticale, fig. 5, en quatre petits carneaux l, l', l^2, l^3, communiquant entre eux et permettant la circulation des produits de la combustion sur toute la distance comprise d'un foyer à l'autre, comme cela avait lieu dans l'étuve double de Bordeaux.

Afin de permettre le passage des hommes sur les carneaux, pour la manœuvre des wagons, des plaques en fonte J, reposant sur des armatures en fer y y', sont placées au-dessus des carreaux supérieurs x, de manière à prévenir leur rupture sous le poids des ouvriers. De même, les orifices percés dans les cloisons latérales des carneaux ont été supprimés, par la raison qu'ils étaient inutiles : les gaz chauds, tendant toujours à s'élever, passent de préférence par les intervalles supérieurs des carneaux dès que la somme des sections est suffisante, au lieu de passer par les orifices latéraux.

Quant aux autres dispositions de l'étuve, elles sont demeurées les mêmes : on y retrouve les murs de clôture, en double épaisseur, avec espace vide et orifices inférieurs pour l'échappement des gaz et des vapeurs, les foyers à chaque extrémité entre les rails, les double portes, etc.

Au surplus, nous le répétons ici, ces modifications, toutes de détail, n'altèrent en rien la conception primitive, et le mode de fonctionnement reste toujours le même; c'est-à-dire que les bois traversent de la même manière l'étuve d'un bout à l'autre, et que pendant leur séjour dans cette étuve ils y sont soumis à l'action de l'air et des gaz chauds provenant des deux foyers extrêmes, qui, sur tous les points de la longueur de l'étuve, tendent à s'élever verticalement vers son sommet pour redescendre latéralement vers la partie inférieure et s'échapper par des orifices nombreux dans les espaces vides ménagés dans l'épaisseur des murs de clôture et formant cheminées.

C'est à ces heureuses dispositions qu'il faut attribuer les résultats favorables obtenus par ces appareils, dispositions bien combinées qui, dans quelques détails, se rapprochent de certaines dispositions antérieurement proposées, mais qui en diffèrent par le but qu'ils atteignent comme par l'introduction d'éléments nouveaux et un ensemble dont on ne retrouve pas l'équivalent dans les systèmes que nous avons d'abord passés en revue.

On lira sans doute avec intérêt l'extrait suivant d'une note

présentée par M. Combes à la Société centrale d'agriculture de France, le 11 mai 1870. Ce document, qui peut se relier naturellement au sujet que nous traitons ici, indique l'état actuel de la consommation en France des traverses injectées :

« Les renouvellements des traverses ont suivi pendant longtemps une progression croissante; mais depuis trois ans la proportion des traverses remplacées est à peu près constante et égale à 8 p. 100 du nombre des traverses en service dans les voies principales : la durée moyenne de ces traverses sera donc de 12 ans.

« Aujourd'hui, le nombre des traverses sur les voies principales du réseau exploité est de 4 250 000; lorsque le réseau concédé sera entièrement construit, ce nombre atteindra 5 100 000; il faudra donc alors 400 000 traverses par an pour l'entretien (représentant environ 40 000 mètres cubes de bois); à cette quantité il faudra ajouter encore 100 000 traverses par an pour la construction des lignes nouvelles. »

Voici la liste des étuves qui ont été construites suivant le système Blythe, dans différentes localités :

	Lieux.	Propriétaires.	
1863.	Bordeaux,	Blythe,	existe encore.
1864.	Morcenx (Landes),	Blythe,	n'existe plus.
1865.	Mantes (Seine-et-Oise),	Blythe,	*Idem.*
1867.	Creil (Oise),	Compagnie du Nord,	existe encore.
1867.	Poix (Somme),	Compagnie du Nord,	*Idem.*
1869.	Châtel-Nomexy (Vosges),	Joffroy,	*Idem.*
1869.	Port d'atelier (Haute-Saône),	Compagnie de l'Est,	*Idem.*
1868.	Saint-Dizier (Haute-Marne),	Jamin et Bailly,	*Idem.*
1869.	Champagneul (Meurthe),	Burt et Compagnie	*Idem.*
1869.	Vireux,	Bethell,	*Idem.*
1869.	Givet,	Bethell,	*Idem.*

V

Si l'on veut résumer les principaux faits que nous avons cherché à mettre en relief dans ce mémoire, on reconnaîtra que la dessiccation artificielle des bois offre un véritable intérêt.

Au point de vue du chauffage, on verra qu'en éliminant l'eau des bois humides ou mouillés, on évite la dépense de la chaleur qui s'appliquerait en pure perte à l'évaporation de ce liquide, et qui empêcherait parfois d'obtenir les températures indispensables au succès de certaines opérations industrielles; on se rappellera que les dispositions annexes des fours de verreries et de plusieurs industries métallurgiques réalisent souvent, avec économie, la dessiccation méthodique du bois de chauffage à l'aide des gaz perdus de la combustion, en faisant avancer le bois sur des chariots dans des cheminées horizontales, suivant une direction contraire à celle des gaz sortants.

Quant à la dessiccation préalable des traverses destinées à l'établissement des voies ferrées, elle a donné lieu à diverses dispositions d'étuves spéciales que nous avons successivement décrites. Nous avons plus particulièrement insisté sur la construction de l'étuve Blythe, parce qu'elle nous a semblé réunir les principales conditions théoriques de l'économie du combustible et de la réalisation des effets utiles de la dessiccation préalable, cette étuve ayant d'ailleurs reçu la consécration de la pratique en grand.

On a pu remarquer à cet égard que la dessiccation artificielle, pour être efficace, doit enlever au bois une quantité d'eau qui laisse libre un volume de 300 litres environ par mètre cube, ce qui permet d'injecter un égal volume du liquide antiseptique soit de *créosote*, soit d'une solution de sulfate de cuivre à 0,02, représentant 6 kilos de ce sulfate cristallisé par mètre cube de bois injecté, ces doses de l'un ou de l'autre agent antiseptique ayant été expérimentalement démontrées suffisantes pour assurer la conservation des traverses.

Nous avons enfin fait remarquer les notables avantages de cette dessiccation immédiate, qui permet d'effectuer l'injection vingt-quatre heures après que les arbres ont été abattus et débités en traverses.

C'est encore à l'aide de cette dessiccation artificielle que l'on parvient soit à mettre en œuvre, soit à injecter de liquides antiseptiques diverses pièces de bois après qu'elles se sont trouvées plus ou moins longtemps immergées dans l'eau ou amenées des forêts par la voie du flottage sur les canaux ou les rivières.

On comprendra sans peine toute l'importance de cette inno-

vation qui vient apporter son énergique concours pour l'exécution rapide des chemins de fer, à une époque comme la nôtre, où les relations internationales se multiplient au profit du plus grand nombre, où les embranchements des voies ferrées vont faire pénétrer directement les bienfaits de ces relations dans tous nos départements et bientôt sans doute dans tous les cantons de la France.

PROCÈS-VERBAL DES EXPÉRIENCES

FAITES

AU CONSERVATOIRE IMPÉRIAL DES ARTS ET MÉTIERS

SUR LA RÉSISTANCE

DES TUYAUX DE PLOMB ET DES TUYAUX D'ÉTAIN

DU COMMERCE.

L'industrie encore récente des tuyaux de plomb doublés d'étain avait déjà appelé notre attention sur la résistance comparative de ces deux métaux, et les conditions de leur emploi dans l'établissement des tuyaux de conduite.

Il résultait de nos premières évaluations que, dans certaines circonstances, et en adoptant les coefficients généralement admis, on pourrait obtenir presque au même prix des tuyaux d'égale résistance, soit avec l'un, soit avec l'autre métal. Encore bien que les prix actuels de l'étain rendent quant à présent cette égalité irréalisable, M. Hubin, négociant en métaux, nous a proposé de mettre à notre disposition une série de tuyaux de plomb et une série de tuyaux d'étain qui pourraient être essayés séparément, et M. Hubin fils a lui-même pris part à toutes les déterminations.

Toutes les expériences ont été faites sur des tuyaux de un mètre de longueur, fermés à chacune de leurs extrémités par une paire de brides à boulons serrés sur un collet rabattu. L'une des brides était percée d'un orifice communiqnant avec l'un des cylindres de notre presse hydraulique, dont le manomètre indiquait la pression au moment où se produisait la déchirure. Nous rendrons compte séparément des essais relatifs aux deux natures de tuyaux.

Tuyaux de plomb.

Nous avons choisi pour ces expériences la série des tubes de $0^m.030$ de diamètre intérieur, présentant des épaisseurs qui varient de $0^m.0025$ à $0^m.007$. Les résultats obtenus sont indiqués dans le tableau suivant.

Les pressions de rupture ont varié, suivant les indications du tableau, de 25 à 66 atmosphères, et pour nous rendre compte de la résistance du métal dans les différentes séries, nous avons calculé pour chacune d'elles le rapport $n : 2e$ de la pression en atmosphères au double de l'épaisseur exprimée en millimètres.

La formule générale de la résistance des tuyaux cylindriques étant $2Re = 0.010330nd$ dans laquelle R est la résistance par millimètre carré, d le diamètre intérieur en millimètres et $0.010330n$ la charge intérieure par millimètre carré, on en tire

$$\frac{n}{2e} = \frac{R}{0.010330\,d} = \frac{R}{0.010330 \times 30} = \frac{R}{0.31}.$$

Nous obtiendrons la valeur de R, résultant de chaque expérience, en multipliant par le coefficient 0.31 la valeur de $\frac{n}{2e}$ telle qu'elle est inscrite dans le tableau.

Remarquons d'abord que cette valeur de $\frac{n}{2e}$ diffère très-peu d'une expérience à l'autre.

TUYAUX DE PLOMB.

NUMÉROS des Expériences.	ÉPAISSEUR du tuyau.	POIDS par mètre.	PRESSIONS de rupture en atmosphères.		VALEURS DE $\frac{n}{2e}$
	millimètres.	kil.	atmosphères.		
1	2.5	3.05	25.22	25.18	5.08
2	2.5		25.08		
3	3.0	3.50	34.55	32.50	5.42
4	3.0		32.69		
5	3.0		34.55		
6	3.0	3.55	29.88		
7	3.0		30.82		
8	3.5	4.20	33.62	34.09	4.87
9	3.5		34.55		
10	4.0	4.94	44.83	44.83	
11	4.0		44.83		
12	4.0	4.90	35.49	37.86	
13	4.0		39.22		
			Moyenne.	41.35	5.17
14	4.5	5.70	48.10	46.47	5.17
15	4.5		14.83		
16	5.0	6.25	48.56	48.10	4.81
17	5.0		47.63		
18	5.5	7.00	53.23	52.95	4.81
19	5.5		52.67		
20	6.0	7.74	69.10	63.97	
21	6.0		58.83		
22	6.0	7.70	62.01	60.89	
23	6.0		59.77		
			Moyenne.	62.43	5.20
24	7.0	9.25	66.21	65.99	4.71
25	7.0		66.77		

Elle a pour maximum 5.42, pour minimum 4,71, et sa valeur moyenne 4.98 s'applique, avec une approximation très-suffisante

pour ces sortes d'expériences, à toute la série des expériences faites. On trouve ainsi pour le coefficient

$$R = 0.31 \times 4.98 = 1^{k}.54,$$

ce qui revient à dire que le métal a résisté dans toute la série de nos essais à une charge de $1^{k}.54$ par millimètre carré.

La formule théorique s'applique avec ce coefficient dans les conditions les plus satisfaisantes.

Tuyaux d'étain.

Les tuyaux d'étain sur lesquels les expériences ont été faites avaient été fabriqués dans les mêmes conditions que les précédents, et forment une série tout aussi complète, qui se résume dans un tableau de même forme.

Les valeurs du rapport $n : 2e$, calculé comme précédemment, présentent avec l'étain des différences très-grandes; elles varient de 5.32 à 10.24, c'est-à-dire du simple au double, et si l'on examine ces variations de plus près, on reconnaît, malgré de petites anomalies, que la valeur du rapport diminue de plus en plus à mesure que l'épaisseur augmente.

On est ainsi conduit à reconnaître que la formule théorique n'est pas applicable aux tuyaux d'étain, à moins de se servir d'un coefficient de résistance variable avec l'épaisseur.

Ce coefficient R a été calculé dans la dernière colonne du tableau par la relation $R = 0.31 \frac{n}{2e}$ que nous avons déjà employée pour le plomb.

TUYAUX D'ÉTAIN.

NUMÉROS des Expériences.	ÉPAISSEUR du tuyau.	POIDS par mètre.	PRESSIONS en atmosphères ayant produit la rupture.		VALEURS de $\frac{n}{2e}$.	VALEURS de R.
	millimètres.	kil.	atmosphères.			
1	2.0	1.304	26.15	28.49	7.12	2.21
2	2.0		30.82			
3	2.5	2.00	50.43	48.08	9.62	2.98
4	2.5		45.73			
5	3.0	2.321	45.62	47.87	7.98	2.47
6	3.0		48.56			
7	3.0		49.44			
8	3.0	2.60	61.64	61.64	10.24	3.17
9	3.0		61.64			
10	3.5	2.90	69.10	68.97	9.85	3.05
11	3.5		68.84			
12	4.0	3.20	67.24	68.64	8.58	2.66
13	4.0		70.04			
14	4.5	3.80	64.44	64.44	7.16	2.22
15	5.0	4.25	53.23	59.77	5.32	
16	5.0		66.30		6.63	
				Moyenne.....	5.77	1.79
17	6.0	4.75	76.58	68.88	6.39	
18	6.0		61.17		5.10	
				Moyenne.....	5.74	1.78
19	7.0	5.80	74.71	80.32	5.34	
20	7.0		85.92		6.14	
				Moyenne.....	5.74	1.78

Cette résistance de l'étain par millimètre carré de section varie de 2 à 3 kilogrammes, pour les épaisseurs de 2 à 5 millimètres. Pour les épaisseurs plus grandes, elle s'abaisse au

chiffre constant de 1,78 kilogramme. Les fabricants avaient déjà reconnu cette diminution de résistance qu'ils attribuent à ce que, pour les grandes épaisseurs, le refroidissement est plus lent et plus favorable à la cristallisation.

Dans tous les cas, la rupture est précédée, pour l'étain, d'une circonstance particulière très-apparente : le métal se ternit d'abord, puis se boursoufle par places, de telle manière que toute la surface du tuyau est uniformément ridée et mamelonnée sur toute la longueur. Rien d'analogue ne se présente avec le plomb, qui se distingue aussi par l'absence du cri particulier à la déchirure de l'étain. Quelle que soit d'ailleurs la raison de la différence observée, les faits constatés établissent que si les tuyaux minces en étain peuvent quelquefois offrir une résistance double de celle du plomb et même plus grande, cet avantage comparatif disparaît quand l'épaisseur du tuyau atteint 5 millimètres, et la résistance des deux métaux ne présente plus alors en faveur de l'étain qu'une très-petite différence par rapport à celle du plomb.

Fait par l'ingénieur sous-directeur du Conservatoire impérial des Arts et Métiers.

Paris, le 30 avril 1869.

Vu : Général MORIN. H. TRESCA.

NOTE SUPPLÉMENTAIRE SUR LA RÉSISTANCE DES TUYAUX DE PLOMB DOUBLÉS D'ÉTAIN.

En même temps que les expériences précédentes, nous avons profité de l'installation qu'elles avaient nécessitée pour faire quelques essais sur des tuyaux de la fabrication de M. Hamon, pris sans choix parmi ceux du commerce.

Ces tuyaux mixtes avaient également un diamètre de $0^m.030$

avec des épaisseurs comprises dans celles des tuyaux analogues, de 0m.0025 à 0.0045.

Voici les résultats très-concordants obtenus avec ces tuyaux :

Résistance des tuyaux de plomb doublés d'étain.

Expériences du 5 avril 1869.

NUMÉROS des Expériences.	ÉPAISSEUR du tuyau.	POIDS par mètre.	PRESSIONS en atmosphères ayant produit la rupture.		VALEURS de $\frac{n}{2e}$.	VALEURS de R.
	millimètres.	kil.	atmosphères.			
1	2.5	2.80	38.29	37.82	7.56	2.34
2	2.5	2.82	37.35			
3	4.0	4.900	44.83	44.83	5.60	1.74
4	4.0	4.980	44.83			
5	4.5	5.130	48.56	48.56	4.95	1.53
6	4.5	5.152	48.56			

Le remplacement du plomb par l'étain, sur une couche intérieure d'un demi-millimètre seulement d'épaisseur, a suffi pour élever le coefficient de résistance par millimètre carré à 2k.34, pour les tuyaux de 0m.0025 d'épaisseur ; mais cette couche ne paraît avoir exercé aucune influence sur la résistance moyenne du tuyau de 0.0045. L'étain n'y entrait alors que pour un neuvième seulement de l'epaisseur totale et ne pouvait par conséquent exercer une action de quelque importance. H. T.

LES PHÉNOMÈNES DILUVIENS

DANS LE BASSIN DE LA SEINE.

Histoire générale de Paris. — La Seine; le bassin Parisien aux âges antéhistoriques, par M. Belgrand, inspecteur général des ponts et chaussées, directeur des eaux et des égouts de la Ville.

PAR M. ALEXIS DELAIRE.

Les phénomènes diluviens, dont la puissante action destructive est si profondément empreinte dans le relief du sol en tous pays, le creusement des vallées et l'origine des dépôts de transport si variés qui recouvrent de vastes étendues sur les terrains les plus divers, sont au nombre des questions géologiques les plus débattues et les plus obscures. Un grand nombre de théories différentes ont été présentées et ont acquis droit de cité dans la science, grâce au respect qu'inspire le nom de leurs auteurs, grâce aussi à la part de vérité qu'elles contiennent chacune, malgré leurs contradictions apparentes. Les uns ont attribué à des inondations gigantesques, plusieurs fois répétées, et le *diluvium gris* et le *diluvium rouge;* d'autres ont mis en évidence l'action glaciaire si longtemps méconnue et, entraînés trop loin peut-être, c'est tantôt aux glaces flottantes, tantôt aux glaciers dont les hautes cimes nous montrent aujourd'hui les résidus, tantôt même à une immense calotte de glace recouvrant un continent entier, qu'ils ont cherché à rattacher l'origine des dépôts de transport; souvent enfin on a fait intervenir aussi, et non sans raison, l'action fluviatile qui a marqué d'un cachet évident plusieurs des formations diverses dont on cherchait à deviner la genèse mystérieuse. Il est plus que probable que les causes tour à tour invoquées ont eu chacune leur rôle spécial, soit dans le

temps, soit dans l'espace. Mais jusqu'à présent on n'avait encore pu, même pour une région déterminée, systématiser les faits observés et les ramener à des lois mécaniques précises et exactes. Ce n'est qu'à ce prix toutefois qu'une science s'affranchit de l'hypothèse et de l'empirisme. Pour les phénomènes diluviens, au moins, dont nos contrées ont été le théâtre, il nous semble que ce résultat vient d'être atteint de la manière la plus heureuse par M. l'inspecteur général Belgrand, dans la savante monographie qu'il a publiée sur l'histoire du bassin de la Seine aux âges antéhistoriques. Adoptant les idées vraies, partout où il les rencontrait, dans les théories précédemment émises, mais coordonnant les faits et discutant avec un sens critique très-fin et très-juste les relations de cause à effet que l'étude du sol faisait apercevoir, l'éminent ingénieur a su tracer de l'époque du creusement des vallées un tableau saisissant dans sa vérité et faire sentir à chaque instant la preuve, à côté de l'opinion énoncée. Instruit par la pratique constante et éclairée d'un art qui est la meilleure école du géologue, il a pu apporter à la science, sur un point capital, une solution définitive, et élever un monument qui demeurera un modèle accompli de critique sûre et d'érudition savante. Nous essayerons d'étudier ici cette phase de l'histoire de la terre, en prenant pour guide l'excellent travail que nous venons de citer.

I

LE DÉLUGE.

Les assises sédimentaires les plus récentes qui se rencontrent dans le bassin de Paris appartiennent au terrain miocène inférieur, et constituent les sables de Fontainebleau que surmonte le calcaire de Beauce avec les argiles à meulières supérieures. Quelques sommités aux environs immédiats de Paris conservent leur couronnement de sables et de meulières, et sont au nombre des *témoins* de l'ancienne extension des dépôts tertiaires moyens sur la plus grande étendue du bassin de la Seine. Ainsi, sur les

hauteurs de Belleville, on retrouve le petit banc d'huîtres (ostrea cyathula) si caractéristique de la base des sables supérieurs; ainsi les coteaux de Meudon, de Sannois, de Montmorency montrent, sur des épaisseurs plus ou moins considérables, les meulières avec lymnées, planorbes ou potamides, qui représentent le calcaire lacustre des plateaux de la Beauce.

L'ensemble des couches sédimentaires est très-complet dans cette région, à laquelle la succession régulière des diverses assises imprime une configuration des plus remarquables, que l'on a judicieusement comparée à une pile de boucliers, de moins en moins convexes, placés les uns sur les autres; les rebords abrupts regardent les frontières et forment autour de la capitale une suite d'enceintes et de défenses naturelles, tandis que les pentes adoucies descendent de toutes parts vers le centre de figure du bassin, point fort peu éloigné de Paris. Nous verrons tout à l'heure que le phénomène diluvien n'est pas resté étranger à cette structure, et qu'il a modelé le relief de la contrée suivant la nature plus ou moins résistante des roches qu'il a rencontrées. Au-dessous des couches miocènes viennent les calcaires et les meulières de la Brie, les marnes vertes, le gypse et ses marnes; puis le calcaire lacustre et les sables moyens, couronnant la puissante masse du calcaire grossier; enfin, à la base des formations éocènes, les sables du Soissonnais, les lignites, les argiles plastiques et les poudingues. Les terrains crétacés supérieurs forment le fond des plaines arides de la *Champagne pouilleuse*, et se retrouvent dans les coupures des coteaux de la Seine, comme sur les escarpements des falaises de la Normandie. Les assises crétacées inférieures, beaucoup plus argileuses, donnent au sol une imperméabilité relative qui permet à de nombreux cours d'eau d'en sillonner les dépressions; c'est la *Champagne humide*. Là viennent affleurer entre deux couches d'argiles les sables aquifères de nos puits artésiens.

Enfin commence l'alternance plusieurs fois répétée de calcaires résistants et de marnes subordonnées qui constituent le terrain jurassique, dont les diverses divisions, étudiées d'abord en Angleterre, se présentent dans l'ordre suivant: le calcaire de Portland et l'argile de Kimmeridge; le calcaire corallien et les marnes oxfordiennes; la grande oolithe et l'oolithe inférieure; et, à la base, les assises variées du lias. Le premier terme de la série

secondaire, le trias, ne se rencontre qu'en lambeaux dans l'Auxois, sur le revers du plateau central ; il faudrait, vers l'Est, rejoindre les Vosges et la Lorraine pour retrouver les marnes irisées ou le grès bigarré complétement développés. Si l'on néglige quelques rares témoins soulevés sur les sommités du Morvan ou redressés a sa base, il faudrait de même, pour atteindre les terrains paléozoïques, s'éloigner jusqu'à l'Ardenne et la Belgique au Nord, jusqu'au Maine et à la Bretagne à l'Ouest. Aussi les terrains anciens resteront-ils pour nous en dehors des limites de cette étude. Un massif de granites et de porphyres, dont les mamelons boisés ne dépassent guère 900^{m} d'altitude, domine, vers le Sud-Est, l'ensemble du bassin et imprime au Morvan un caractère parfaitement tranché. Tels sont les traits généraux de la configuration géologique du bassin de Paris. Efforçons-nous de reconstruire par la pensée, et au moyen des données de l'observation, ce qu'il devait être à l'origine de la période diluvienne, c'est-à-dire avant les phénomènes, quelle qu'en soit la cause, qui ont creusé les vallées, rasé les plateaux. déposé des limons fins, des graviers ou des sables, ensemble divers que désignent les noms mal définis de diluvium gris, diluvium rouge, lœss, terrains de transports...

On trouve, dit M. Belgrand, à l'aval du Morvan, entre Vézélay et Avallon, quelques traces des vallées qui existaient avant la fin de l'époque tertiaire. Creusées dans les calcaires oolithiques, elles sont en partie comblées par des sables, fins comme ceux de Fontainebleau, jamais grenus comme ceux des terrains de transport, et qui paraissent se rattacher intimement aux dépôts de la mer miocène.

D'autre part, les plateaux lacustres du Valois et de la Brie montrent de longs alignements de grès de Fontainebleau qui se relient aux témoins que nous avons déjà signalés aux environs de Paris ; ainsi tout concourt à nous représenter le bassin de la Seine comme occupé par la mer, qui y déposait les puissantes assises des sables supérieurs.

Le Morvan et l'Ardenne émergeaient seuls en amont de la pente générale, et toute dépression préexistante devait être comblée comme celles dont nous venons de parler. Toutes les vallées que sillonnent aujourd'hui nos cours d'eau sont donc postérieures,

car jamais on ne rencontre dans leur fond les sables de Fontainebleau, qui occupent toujours les plateaux élevés. Certaines formations lacustres ont recouvert les sables sur une étendue que nous ne pouvons apprécier; c'étaient les calcaires de Beauce et les meulières. Peut-être d'autres dépôts ont-ils suivi ceux-ci; néanmoins, comme on n'en trouve aucun vestige, il faudrait admettre qu'il ont été complétement emportés par le phénomène diluvien. Il semble donc plus naturel de penser que le fond de la mer et des lacs miocènes était émergé dans cette partie de la France, tandis que, par suite d'un affaissement contraire, dans la Touraine se déposaient les faluns, et qu'en Angleterre se formait la série si curieuse des *crags* du Suffolk et du Norfolk.

Sur les plateaux que constituent aujourd'hui les sables de Fontainebleau ou les calcaires de Beauce, les cours d'eau sont très-rares, parce que ces terrains, extrêmement perméables, se laissent traverser par les eaux pluviales; elles pénètrent jusqu'aux nappes souterraines et donnent naissance à des sources puissantes qui, filtrées et limpides, s'écoulent au fond des vallées principales. Au contraire, sur les roches granitiques du Morvan, sol essentiellement imperméable, l'eau ruisselle de toutes parts et produit de nombreuses rivières. Tel devait être déjà le régime des eaux à la surface du bassin de la Seine, lorsqu'en aval du Morvan le fond de la mer miocène formait une vaste plaine aride, ondulée comme la Beauce, couverte de vallées sèches que séparaient seulement de loin en loin quelques sillons, récipients des eaux absorbées par le sol, et sur les bords desquels des sources multipliées entretenaient d'immenses marais où végétaient les plantes aquatiques, les *nymphæa,* dont nous retrouvons les graines si abondamment mélangées aux coquilles lacustres. Quant à la direction de l'écoulement des eaux vers l'océan, il est impossible de rien affirmer, tant le relief orographique et hydrologique a été profondément effacé; toutefois, il est plus que probable que les eaux du Morvan se déversaient dans la Loire, en passant près de Montargis, tandis que les eaux des bassins que traversent aujourd'hui l'Oise et la Marne se rendaient directement dans la mer, bien au nord de l'embouchure de notre Seine actuelle. Le climat nous est mieux connu : les belles recherches de M. Heer et les intéressantes études de M. de Saporta permettent de se représenter la flore de l'époque miocène, même dans les

régions polaires, comme fort analogue à la végétation actuelle de la Californie. Les *Sequoia* et d'autres essences tropicales s'y montrent associées aux chênes, aux hêtres, aux bouleaux, à la vigne, aussi bien au Grœnland qu'en Suisse, en Allemagne ou en Italie. La température moyenne de l'année devait donc être assez notablement plus élevée que de nos jours, et c'est aussi ce que viennent confirmer les travaux dont les faunes malacologiques des couches tertiaires de l'Angleterre ont été l'objet. Tandis que les assises miocènes présentent de nombreux mollusques analogues à ceux qui vivent aujourd'hui dans la Méditerranée ou les mers de l'Inde, les couches pliocènes montrent à leur base, dans le crag corallien, une faune encore méridionale, quoique moins accusée, qui prend dans le crag rouge un *facies* plus septentrional, et acquiert dans le crag de Norwich un caractère franchement boréal. La température a été ainsi en s'abaissant graduellement depuis le milieu des temps tertiaires jusqu'à l'origine de l'âge suivant. « C'est donc à la fois le commencement de l'époque quaternaire et de l'époque glaciaire[1]. »

Nous arrivons ainsi au phénomène dont la puissante action a creusé nos vallées et modelé les reliefs du bassin parisien, en donnant lieu, par ses conséquences éloignées, aux dépôts variés qui, dans les cavernes comme sur les terrasses et les anciennes berges, ont offert de si nombreux ossements de grands mammifères et des restes si précieux de l'industrie humaine. Dans cette période de l'histoire de la terre, nous distinguons nettement deux phases : l'une a vu s'accomplir pendant sa courte durée un cataclysme brusque et instantané; un immense flot diluvien a franchi le seuil de la Côte-d'Or et s'est répandu avec une irrésistible impétuosité du Morvan vers l'Océan ; l'autre, beaucoup plus longue dans sa tranquillité relative, a vu d'abord de grands cours d'eau réguliers succéder au torrent gigantesque, puis ces grands fleuves de l'*âge de pierre* ont peu à peu abaissé leur lit par suite des oscillations lentes du sol; alors ils ont remanié, suivant des lois définies et connues, tous leurs dépôts d'alluvions, tandis que de temps à autre une crue plus abondante amenait un débordement dont le limon recou-

1. *Introd.*, p. LVII.

vrait les berges abandonnées. Aussi, comme dans tous les grands phénomènes géologiques, voyons-nous les actions lentes succéder aux effets violents et concourir avec eux, dans une harmonieuse unité d'ensemble, à assurer le jeu normal des forces de la nature [1]. Mais avant d'entrer avec le savant ingénieur dans la discussion des faits si intéressants sur lesquels il appuie ses interprétations rationnelles, cherchons, à son exemple, s'il est possible de fixer la date géologique du phénomène. Les derniers temps de la période miocène ont été marqués par le dépôt d'une vaste formation marine, la molasse, qui constitue le fond de la vallée suisse. L'époque pliocène, pendant laquelle les marnes bleues se déposaient au pied de l'Apennin et les alluvions anciennes au fond du lac de la Bresse, est délimitée par deux soulèvements, celui des Alpes occidentales qui a fait émerger le fond de la mer de la molasse, et celui des Alpes principales qui a redressé les marnes subapennines et desséché le lac de la Bresse. Il y a longtemps déjà [2] que M. Elie de Beaumont avait indiqué, comme l'une des causes probables des phénomènes diluviens observés aux environs de Paris, le déversement vers le Nord-Ouest des eaux de ce grand lac, en ajoutant que l'absence des ossements de cétacés dans les dépôts de transports « devait rendre très-réservé dans l'emploi de l'hypothèse de vagues diluviennes. » Toutefois, M. Belgrand en chercherait plutôt la cause dans le déplacement de la mer qui remplissait la vallée suisse à la fin de l'époque miocène. Un des principaux arguments à l'appui de cette opinion est la présence

1. Il y a eu souvent à propos des actions lentes un malentendu qui subsiste malheureusement encore et qu'il importe de signaler nettement. « Je distinguerai soigneusement, dit M. Belgrand, deux choses que l'on a trop souvent confondues : les *actions lentes* et les *causes actuelles*. Je suis partisan des *causes actuelles*, c'est-à-dire des forces qui sont encore en jeu dans la nature. Ces forces à la vérité ne produisent aujourd'hui que des *actions lentes* parce que nous sommes dans une période de tranquillité géologique ; mais dans les temps de convulsion, de soulèvement des grandes chaînes montagneuses notamment, elles ont pu produire des mouvements rapides du sol et des actions violentes. Étendre à tout le passé la lenteur avec laquelle les phénomènes géologiques s'accomplissent de nos jours, c'est convertir en axiome une hypothèse qui n'est justifiée ni par les faits, ni même par les probabilités. » (*Introduction*, page XXXIX.)

2. *Bulletin de la Société géologique de France*, juillet 1847.

des ossements d'une espèce particulière d'éléphant, l'*elephas meridionalis*, dans les marnes pliocènes du val de l'Arno et dans les dépôts de transports de la vallée de l'Eure, à Saint-Prest ; l'absence des restes marins s'expliquerait sans doute par la nature même du phénomène, dont la violence paraît incompatible avec la conservation d'ossements ou de fossiles, et du reste nous constaterons plus loin qu'on ne rencontre de débris d'animaux que dans les graviers remaniés des cours d'eau qui ont succédé au torrent diluvien. Toutefois le creusement des vallées du bassin de la Seine et les phénomènes accessoires qui l'ont accompagné ou suivi, présentent un tel cachet d'unité qu'on ne peut y reconnaître que l'œuvre du dernier déluge, si l'on doit admettre que deux flots successifs aient envahi la contrée à des intervalles éloignés. Le dernier cataclysme qui a donné aux Alpes leur relief actuel s'est produit dans des conditions météorologiques remarquables : le climat était devenu très-froid, nous l'avons dit, à la fin de l'époque pliocène, et des cimes élevées des Alpes devaient descendre très-bas dans les vallées, peut-être en aval des grands lacs, d'immenses glaciers qu'alimentaient de vastes champs de neiges éternelles ; c'était déjà la période glaciaire. Quand le soulèvement des Alpes principales vint bouleverser la contrée, il y eut nécessairement un échauffement considérable en raison des énormes actions mécaniques développées dans ces conditions et aussi à cause des abondants dégagements de gaz et de vapeur d'eau dont elles étaient inévitablement accompagnées ; de là résulta une fonte rapide des neiges accumulées sur les hauts sommets [1]. Et si nous voulons nous représenter ce que durent produire les formidables torrents qui en descendirent, il faut étudier dans les détails de leur action ce rôle des eaux violentes dans les montagnes élevées. « Dans les Alpes françaises, par exemple, les effets des eaux pluviales prennent des proportions gigantesques ; des pans de montagnes tout entiers sont emportés par les torrents, dont les lits... sont vides dans leurs parties supérieure et moyenne ; on constate, à leur jonction avec la vallée principale, une énorme accumulation de matières entraînées [2]. » Si la vallée est large-

1. On sait de quelles inondations sont accompagnées les éruptions volcaniques sur les cimes neigeuses des Andes.

2. *Introduction*, p. XLVIII.

ment ouverte, le volume des eaux n'est pas assez grand pour compenser la faiblesse de la pente; alors le torrent ne donne lieu qu'à des actions lentes, et les alluvions, s'il s'en produit, se prolongent en longues traînées à partir du lieu où elles prennent naissance. Lorsqu'une crue vient augmenter la puissance du courant et qu'un obstacle arrête un moment son libre épanchement, il affouille avec violence et produit une excavation qui reste béante, tandis que les matériaux charriés se répandent sur la périphérie ou traversent la cavité sans y demeurer enfouis. La Loire, l'Yonne en fournissent des exemples fréquents. Avec un flot diluvien remplissant entièrement la vallée, la vitesse donnera au courant la puissance des torrents à fortes pentes et la vallée se creusera sur tout le développement de son thalweg. Comme un tel phénomène est par sa nature même de courte durée, la rapidité, et par conséquent la force du cours d'eau diminuant d'abord en amont, il cessera d'affouiller, quoique transportant encore ses graviers; alors les ravins les plus élevés, les petites vallées se videront; puis, si le lit s'élargit ou si une plaine vient en diminuer la pente, la vitesse décroissante ne pourra plus entraîner les alluvions sableuses qui se déposeront et les limons argileux descendront seuls jusque dans les parties basses. Si nous voulons chercher les traces de leur passage, qu'ont dû laisser dans les hautes vallées des Alpes les torrents que le dernier soulèvement a engendrés, nous emprunterons à l'un des plus récents explorateurs, à M. A. Favre, la description des dépôts quaternaires alpins. On y reconnaît trois divisions bien tranchées : au fond des vallées se trouve l'*alluvion ancienne*, constituée de dépôts de cailloux roulés, quelquefois de sables, et enfin de marnes et de limons. Peu développée dans les hautes vallées, elle ne se rencontre que dans la partie moyenne et basse du pays, où elle forme souvent de puissantes assises. L'alluvion ancienne est recouverte d'un autre terrain de transport très-distinct ; c'est un mélange de boue et de fragments de diverses roches des Alpes, non roulés, mais souvent polis et striés; d'énormes blocs y sont souvent associés. C'est le *terrain glaciaire*, composé de la boue des glaciers et des blocs erratiques dont ils constituaient leurs moraines mouvantes. Il s'est étendu depuis les hautes vallées jusque dans les plaines basses ; ainsi, dans la vallée du Rhône, MM. Chantre et Falsan

ont signalé dernièrement des blocs erratiques à la Croix-Rousse, à l'altitude de 150^{m}. Enfin le terrain de transport glaciaire est surmonté d'une couche de gravier fluviatile ou lacustre, provenant, sans aucun doute, du remaniement par les cours d'eau des deux formations inférieures. C'est ce que M. Favre appelle l'*alluvion des terrasses*, et c'est là seulement que l'on a rencontré des ossements d'animaux de race éteinte.

La théorie glaciaire de M. de Charpentier, si vivement combattue autrefois par M. de Buch, est aujourd'hui établie sur la base solide des faits; mais elle s'est en même temps dégagée des conséquences extrêmes que certains de ses partisans en avaient voulu conclure. On ne saurait aujourd'hui admettre avec M. de Buch le transport des blocs erratiques par des courants diluviens qui, malgré la puissance formidable qu'il faudrait leur supposer, auraient respecté partout le dépôt si meuble de l'alluvion ancienne pour le recouvrir en stratification concordante d'une couche de boue mélangée aux blocs. Ceux-ci, d'ailleurs, dans un courant, se seraient usés et détruits rapidement, et surtout auraient voyagé au fond de la vallée et non à flanc de coteau. Mais, d'autre part, on ne pourrait accepter davantage que la théorie glaciaire soit un argument favorable au système des causes actuelles et contraire à la possibilité du soulèvement brusque des montagnes. Comment expliquer, avec le relèvement lent et progressif des Alpes, que les alluvions anciennes en aval du lac de Genève présentent en abondance des fragments de roches du Valais, des serpentines notamment, qui auront dû traverser le lac sans s'y arrêter? Et les mêmes observations s'appliqueraient à la Savoie comme aux lacs italiens. Malgré la science et la sagacité dont ils ont fait preuve, tous les géologues qui ont cherché à expliquer la formation des lacs des Alpes n'ont pu, avec les actions lentes, arriver à une solution satisfaisante. Les uns ont considéré les lacs comme d'abord comblés par l'alluvion ancienne et ensuite affouillés, déblayés par les glaciers; mais ceux-ci, on en a de nombreux exemples, et par les coupes des alluvions anciennes, surmontées de boue glaciaire, et par l'observation actuelle des glaciers en activité, passent sur ces terrains meubles sans les creuser, sans les déplacer. D'autres alors ont pensé que les alluvions anciennes n'étaient que le remaniement de la moraine terminale du glacier, lorsqu'il

montrait sa tête précisément à l'aval du lac sur le pourtour duquel s'étend le dépôt de transport; mais alors, pendant le retrait du glacier, le même phénomène aurait dû se produire en amont, et les matériaux qui seraient résultés de ce remaniement et du travail d'élargissement des vallées supérieures seraient à leur tour descendus combler les lacs. Nous ne pouvons, avec M. Belgrand, suivre de près la discussion des hypothèses diverses présentées par MM. de Mortillet, Favre, etc.; mais ce que nous venons de dire doit montrer combien il est difficile, pour ne pas dire impossible, de tout rapporter aux seules *actions lentes;* au contraire, en admettant le soulèvement brusque des Alpes, tout s'explique aisément et par la seule intervention des *causes actuelles*, des forces qui agissent sous nos yeux. D'après ce que nous avons dit plus haut des actions qu'exercent les cours d'eau rapides, la disposition de l'alluvion ancienne, son absence dans les hautes vallées, son dépôt périphérique autour des lacs complétement vides, sa composition même, tout nous fait reconnaître les traces les plus nettes du passage d'un de ces torrents qui, encore sous nos yeux, déblayent les ravins d'amont, déposent leurs alluvions dans les parties moyennes de leurs vallées, affouillent et creusent, sans les combler ensuite, de profondes excavations, quand un obstacle vient retarder leur course, et transportent enfin leurs limons fins jusque dans les plaines basses. C'est en s'épanchant ensuite sur le bassin de Paris que ce torrent gigantesque a façonné nos vallées et rasé nos plateaux. Pour nous donc, le phénomène diluvien est la conséquence du soulèvement rapide des Alpes, et l'alluvion ancienne est la formation d'amont qui correspond au creusement de nos vallées et au dépôt du limon qui recouvre en partie les plateaux normands. A la vérité, l'alluvion ancienne paraît si bien coordonnée avec le relief actuel des Alpes et les lacs se relient si intimement à la configuration générale de la chaîne, qu'il peut paraître difficile de les considérer comme antérieurs au dernier soulèvement. On serait alors tenté de rattacher, avec M. de Beaumont, le phénomène diluvien au relèvement subit des Alpes principales et au déversement du lac de la Bresse, c'est-à-dire à la fin de l'époque pliocène. Quant à la présence d'une espèce pliocène, de l'*elephas meridionalis* à Saint-Prest, après le cataclysme, on pourrait peut-être expliquer ce

fait isolé par la courte durée du phénomène qui ne peut avoir changé brusquement la faune terrestre; quelques individus, d'une espèce en voie de décroissance, peuvent avoir survécu au déluge dont leur race avait été témoin, et avoir prolongé quelque temps encore son existence sur un point du continent. On admet bien qu'un certain nombre d'espèces de mollusques marins passent d'une formation à une autre, et dans ces conditions la démarcation est infiniment plus tranchée que dans le cas actuel où il ne s'agit que d'une espèce terrestre qui aurait survécu à un phénomène essentiellement limité dans le temps aussi bien que dans l'espace. On sait d'ailleurs que l'éléphant méridional a vécu également avec tous les grands animaux quaternaires, éléphants, rhinocéros, rennes, etc., dans les forêts de l'Angleterre dont les débris constituent, au-dessus des crags du Norfolk, les couches du *Forest-bed* de Cromer. Là aussi, par conséquent, l'éléphant méridional a dépassé l'ère pliocène proprement dite et a supporté quelque temps encore les mêmes conditions d'existence que les animaux dont les ossements se retrouvent dans nos terrains de transport. Nous croyons donc pouvoir faire prédominer les considérations stratigraphiques et rattacher le phénomène diluvien, aussi bien pour ses effets dans les Alpes que pour son action dans le bassin parisien, au dernier soulèvement dont cette grande chaîne a été le théâtre.

Revenons maintenant dans la vallée de la Seine, pour rechercher si nous trouverons dans les profondes modifications du relief du sol, dans la disposition et dans la nature des dépôts de transport, l'ensemble des caractères qui doivent résulter de l'origine assignée au phénomène. Montrons d'abord qu'il fut essentiellement *violent et rapide* dans son action et dans ses effets.

Les sables miocènes ont été emportés, et n'ont laissé aux environs de Paris que des témoins de leur ancienne extension. La dénudation s'est étendue en général jusqu'au premier terrain résistant au-dessous des sables : tantôt alors ce sont les meulières de la Brie qui forment de larges plateaux; tantôt le calcaire de Saint-Ouen lui-même a été attaqué, détruit, et de là résultent les vastes érosions des plaines du Valois, de Gonesse, de Saint-Denis. Les lambeaux de terrains tertiaires sont tous alignés en bandes longues et étroites, dont la direction S-E—N-O indique nettement celle du grand courant qui, du reste, suivait la

pente générale du bassin de la Seine. L'examen successif de ces collines miocènes, qui formaient des îles au milieu des flots diluviens, fait voir que les eaux se déversaient dans l'Océan par cinq branches, les bouches de ce fleuve immense. C'étaient les vallées de Seine, de la Béthune, de la Somme, de l'Authie et de la Canche.

Non-seulement nous avons vu les sables de Fontainebleau dénudés, et les roches solides qui les recouvraient détruites également, ce qui témoigne déjà de la violence du cataclysme, mais nous rencontrons ici une preuve plus manifeste encore de son action impétueuse : c'est l'uniforme direction du courant sur une aussi large surface. Le moindre obstacle dévie une faible masse d'eau, et si les actions lentes avaient été seules en jeu, la résistance très-variable des diverses roches tertiaires aurait motivé une diversité correspondante dans le régime des eaux. Les travaux exécutés sous la direction de M. Belgrand, pour la dérivation des eaux de la Vanne, ont fourni sur ce point les exemples les plus concluants. Ainsi, dans la traversée de la forêt de Fontainebleau, on a constaté les nombreuses érosions en sillons parallèles, dont le fond présente, au lieu d'une pente uniforme, des altitudes très-variables, fait à lui seul incompatible avec un courant lent, se creusant peu à peu son lit. On a d'ailleurs la certitude que souvent le flot a emporté des collines de sables, couronnées de ces grès à ciment calcaire dont les éboulements chaotiques sur les pentes affouillées donnent un cachet si pittoresque aux paysages de Franchard, d'Apremont, etc. Cependant on ne retrouve que bien rarement un bloc dans le fond des vallons; presque tous sont sur les sommets des plateaux, ou sur le flanc des côteaux. Ils ne peuvent avoir été détruits par les agents atmosphériques, puisque les autres ont résisté; les tranchées nombreuses ouvertes pour la construction du canal, prouvent qu'ils ne sont point enfouis dans les sables; on ne peut donc reconnaître à leur disparition aucune autre cause que le transport par le courant lui-même. Un autre fait de la plus haute importance peut encore être observé ici, et doit nous arrêter un instant. Les longues érosions parallèles creusées dans les collines miocènes se prolongent à la sortie de la forêt, jusqu'à la vallée de l'Ecolle; là elles aboutissent à un obstacle plus résistant : c'est la colline qui sépare aujourd'hui l'Ecolle de l'Essonne. Alors, par un effet

bien connu, les eaux de chaque vallon ont tourbillonné, affouillé, creusé une anse, et la réunion de ces fosses juxtaposées a produit plus tard une vallée transversale, quand le flot diluvien, diminuant de hauteur et de vitesse, s'est déversé par cette voie dans la vallée principale. Telle est l'origine des vallées secondaires : elles prennent naissance toutes les fois que le courant vient heurter un obstacle, et peuvent naître ainsi dans toutes les directions. Les blocs provenant des parties dénudées ont été entraînés d'abord dans ces fosses, puis usés par le frottement, dans les tourbillons des anses; ceux qui avaient échappé à une destruction totale ont été emportés avec les matériaux sableux dans la vallée principale, tandis que la vallée secondaire se vidait complétement; et c'est en effet dans le lit de la Seine qu'on retrouve, souvent à de grandes distances, des blocs de grés ou de meulières. On observerait les mêmes faits dans toutes les grandes érosions du bassin de Paris, aussi bien dans l'Auxois, le Châtillonnais que dans la Champagne; partout les roches dures des plateaux dénudés ont été jetées dans les vallées secondaires, et de là dans le thalweg principal. Partout aussi la direction S-E—N-O s'infléchit quand la résistance du sol vient à changer, et alors apparaissent ces fosses, ces cirques que nous avons reconnus dans les côteaux qui dominent l'Ecolle. Ainsi la vallée de la Seine, après avoir traversé la Champagne, tendait à se prolonger à travers les sillons du Grand-Morin, du Petit-Morin, de la Thérouanne, pour rejoindre la mer par la coupure du pays de Bray. Mais le courant a rencontré le plateau de la Brie et s'est détourné vers Montereau, en creusant alors dans les collines des anses nombreuses, dont on ne voit jamais d'exemples lorsque la direction reste orientée du S-E au N-O. Les mêmes accidents orographiques se voient dans la vallée de la Marne, et sont encore plus nettement dessinés dans les contours sinueux du bassin de l'Oise.

Une autre conséquence du creusement des vallées par une cause violente est le changement de profil suivant la résistance du sol. Étroites dans les terrains durs, les vallées s'élargissent brusquement dans les terrains mous, et y atteignent des dimensions absolument inexplicables, si l'on veut ne recourir qu'aux seules actions lentes et tout attribuer au cours d'eau lui-même. C'est ce qu'on observe en Bourgogne au passage de la grande

oolithe aux marnes oxfordiennes, et plus loin, au sortir des calcaires portlandiens, auxquels succèdent les terrains argilo-sableux de la craie inférieure de Champagne.

La forme même de l'érosion varie aussi bien que sa largeur avec la nature des roches. Ainsi, dans les terrains durs et résistants, les vallées ressemblent à des lits d'immenses fleuves desséchés depuis peu d'années. « Comme dans les lits des cours d'eau ordinaires, le coteau concave des tournants, exposé directement à l'action du courant, est toujours coupé en pentes rapides. Au contraire, les talus des coteaux convexes, à l'aval du sommet de la courbe, s'étendent en pente douce, et sont souvent recouverts par des dépôts de matières solides qui flottaient alors dans l'eau[1]. » Les exemples sont si nombreux, que nous ne saurions les énumérer tous : ainsi les caps granitiques, abrupts en amont, qui coupent la vallée du Cousin, près d'Avallon ; ainsi les murailles ruiniformes des calcaires à entroques du lias supérieur à l'aval de l'Auxois ; ainsi encore les roches de Saint-Moré, dans la vallée de la Cure, près des célèbres grottes d'Arcy, où M. le marquis de Vibraye a recueilli tant de richesses paléontologiques. Là aussi la concavité d'amont présente de grands escarpements ; ce sont les assises de la grande oolithe et de l'oxford-clay. En aval, au contraire, s'étend en pente douce un dépôt d'arène calcaire non roulée ; c'est une formation de transport spéciale aux terrains jurassiques, connue sous le nom d'*arène* ou de *trasse*. Elle ne se présente que sur les points où les courants diluviens perdaient de leur force, dans les anses, en aval de la convexité d'un tournant ; elle est exclusivement composée de fragments de roches du voisinage, qui ne sont ni roulés ni polis, ce qui la distingue nettement, même pour les paysans bourguignons, de la *grève,* dépôt du fond des vallées, et aussi du gravier granitique du Morvan. Sa situation et sa nature montrent bien quelle fut son origine. Du reste, dans les terrains crétacés, on peut aussi retrouver des exemples d'un dépôt de transport analogue à l'arène jurassique, et M. Belgrand en cite notamment près de Rigny-le-Ferron, et aussi sur le tracé de l'aqueduc de la Vanne, près des sources d'Armentières. Dans les plateaux tertiaires de la Brie, les mêmes accidents topographiques se pré-

1. P. 20.

sentent; ainsi les travaux de dérivation de la Dhuis ont mis en évidence sur un grand nombre de points la constitution inverse des coteaux exposés à l'action diluvienne, ou abrités contre sa violence. Entre le confluent du Surmelin et la Ferté-sous-Jouarre, la vallée de la Marne est très-resserrée, le courant devait donc y être très-puissant. Aussi toutes les parties rectilignes ou peu contournées laissent-elles voir les terrains tertiaires en place; tout ce qui avait été ébranlé a été emporté. Au contraire, dans les tournants, les escarpements abrupts en amont disparaissent à l'aval de la convexité de la courbe, et l'on ne trouve sur ces points, comme dans les anses, comme au débouché des vallées secondaires, qu'un mélange de marnes vertes éboulées confusément avec des blocs de grès de Beauchamps, de meulières, etc.

Les vallées secondaires ne portent pas avec moins d'évidence le cachet de leur origine diluvienne. Nous avons vu comment le courant principal a pu les creuser dans des directions quelconques par rapport à la sienne, et cela dans les terrains secondaires ou granitiques, aussi bien que dans les roches tertiaires. Elles ont été vidées en général. Dans les terrains oolithiques très-perméables elles sont sèches aujourd'hui, et l'on n'y rencontre en aucun point la zone de grève qui devrait se développer sur toute leur étendue, si elles avaient été creusées lentement par des cours d'eau maintenant asséchés. Complétement déblayées dans les terrains durs où elles n'acquièrent qu'une faible largeur, elles conservent parfois une portion de leurs détritus dans les terrains crétacés où elles s'ouvrent davantage. C'est ce qui se présente pour celles qui débouchent dans l'Yonne ou l'Armançon; mais alors un énorme amas de cailloux tertiaires s'est formé au confluent, et ne peut être confondu avec les graviers, presque entièrement calcaires, de la vallée principale.

Indépendamment du réseau complet des vallées, le courant diluvien, partout où il a rencontré des terrains d'une faible résistance, a provoqué la formation de larges érosions qui s'étendent jusqu'aux roches plus dures que n'a pu entamer la violence du torrent. Ainsi, entre les pentes granitiques du Morvan et les montagnes oolithiques de la Bourgogne et du Nivernais, se trouve un large fossé, creusé dans les argiles liasiques et qui

constitue l'Auxois et la plaine de Corbigny, sur une largeur qui atteint parfois 27 kilomètres. Comme des grès tertiaires marins se montrent sur les plateaux qui dominent cette excavation, et jusque sur ses bords, on ne peut en révoquer en doute l'origine diluvienne, postérieure à l'époque miocène. Une seconde fosse, longue de 150 kilomètres, a été de même déblayée par le courant diluvien, lorsqu'il a traversé les marnes grises qui, en Bourgogne, représentent l'oxford-clay. Le kelloway-rock, plus résistant, forme le fond de cette excavation, dont les revers sont couronnés par le calcaire corallien. Elle dessine une courbe immense depuis le nord du Morvan jusqu'à la Lorraine. Mais la dénudation la plus largement ouverte s'est formée aux dépens des terrains crétacés, depuis les sables et les argiles néocomiennes jusqu'à la craie blanche. Il en est résulté un vaste fossé de circonvallation sur plusieurs centaines de kilomètres de longueur; le revers du côté de Paris est constitué par les falaises de craie, que leur revêtement de calcaires tertiaires plus résistants ont protégées contre la destruction, et qui forment, depuis Montereau jusqu'à l'Oise, l'obstacle le plus difficile à franchir pour une armée d'invasion. La plaine Saint-Denis, qui se relie aux plaines du Valois, est un autre exemple d'une dénudation pareille, produite cette fois dans les terrains tertiaires.

L'existence de ces gigantesques érosions, comme le dit excellement l'éminent ingénieur, est la preuve la plus frappante de la violence du phénomène diluvien. Comment expliquer par une action lente la destruction, quelquefois sur une épaisseur de 100 mètres, des couches crétacées ou tertiaires, dont les falaises élevées dominent les plaines basses; comment comprendre qu'on ne retrouve dans l'Auxois aucun bloc du calcaire à entroques; dans la Champagne, aucun fragment des meulières ou des calcaires de la Brie, absolument comme sur les plateaux à meulières on ne rencontre aucun bloc de grès de Fontainebleau? Ce que nous avons dit de la formation des fosses, des anses où le courant tourbillonne devant l'obstacle qui arrête sa marche, suffit à faire comprendre comment ces larges érosions ont pu prendre naissance dans toutes les directions, sous l'effort du seul flot diluvien orienté du S-E au N-O. Et, en effet, les quelques témoins de craie blanche, couronnée de terrains tertiaires, qui ont résisté, présentent non pas une direction commune.

comme les buttes des sables miocènes de Fontainebleau, mais, au contraire, les alignements les plus variés, comme les vallées secondaires elles-mêmes dont chacune se montre en rapport avec un lambeau des terrains restés en place. Peut-être le désordre apparent de ces directions répond-il en réalité à un réseau de failles qui ont modifié la résistance du sol fracturé suivant des alignements coordonnés. Quoi qu'il en soit, cette irrégularité ne prouve en aucune façon que « les courants généraux qui ont détruit les terrains tertiaires et une grande partie des terrains crétacés de cette région de la France n'étaient pas dirigés du S-E au N-O, comme ceux qui ont emporté les terrains miocènes de la Brie. »

Il est un troisième effet du flot diluvien dans son action violente et rapide. Non-seulement il formait dans les hautes vallées les alluvions anciennes, non-seulement, dans les parties moyenne et basse de son cours, il creusait les vallées ou dénudait les terrains mous, mais encore il charriait en abondance des graviers, des sables et des limons qui ont dû se déposer quand la vitesse décroissante n'a plus été suffisante pour les entraîner. Ces formations existent en effet et reçoivent le nom général de *diluvium*. Ainsi à la sortie de la vallée du Surmelin, entre Crézancy et Fossoy, l'aqueduc de la Dhuis traverse l'un de ces lits éphémères du torrent diluvien; c'est un mélange de boue, de débris anguleux de meulières et de cailloux roulés qu'accompagnent d'énormes blocs de grès de Beauchamp accumulés dans les anses voisines.

D'autres terrasses semblables se rencontrent encore sur le tracé de la dérivation; un dépôt analogue s'étend sur le plateau de Bicêtre, à peu près à la même altitude de 115ᵐ. Plus élevé que les plateaux rasés entre Fontainebleau et Arcueil, il est par conséquent plus ancien et représente le lit du torrent diluvien alors qu'il n'avait pas encore dénudé, à leur niveau actuel, les plateaux environnants. A Paris même existe encore un lambeau de ces anciens terrains de transport, au-dessus des sables de Fontainebleau, sur le mamelon de Belleville et de Romainville. Il se compose de débris de meulières supérieures, à angles vifs, et de petits cailloux très roulés; comme dans la plupart de ces dépôts la masse est imprégnée de limon rouge.

Il est plus que probable que les grands revêtements caillouteux du pays de Caux et du Vexin normand se rattachent à la même origine. C'est par le sillon qui prolonge vers le N-O la vallée de Montmorency, que s'est d'abord effectuée la débâcle des graviers qui ont été jetés sur les plateaux de Normandie; puis, quand plus tard la vitesse a diminué, les limons se sont à leur tour déposés et ont pénétré par infiltration dans la masse caillouteuse sous-jacente. Ce qui distingue nettement ces dépôts des hautes terrasses de ceux qui occupent le fond des vallées ou qui se présentent à une faible hauteur sur leurs flancs, c'est qu'on n'y remarque jamais comme dans ces derniers de zônes alternantes de sables et de cailloux. Produits par un phénomène unique, ils témoignent par leur homogénéité qu'ils n'ont point été, comme les autres, le résultat d'un régime variable et d'un remaniement plusieurs fois répété. Aussi sommes-nous pleinement autorisés à les considérer comme d'anciens lits que le courant diluvien abandonnait à mesure que son travail d'érosion changeait les conditions de son écoulement. Celles-ci, en effet, devaient varier ; ainsi quand les vallées, larges d'un kilomètre à leur fond et de deux kilomètres au niveau des plateaux, étaient remplies d'eau sur une profondeur de 100 mètres au moins, la vitesse devait dépasser 5^{m} par seconde, même avec une pente aussi faible que celle de la Seine au-dessous de Paris. Tous les blocs de grès ou de meulières des dépôts d'alluvions seraient entraînés par une vitesse pareille; il n'est donc pas surprenant que les vallées secondaires se soient vidées complétement, et que les vallées principales aient été incessamment parcourues par une masse de matériaux constamment renouvelés. A mesure que le niveau des eaux s'abaissait, la vitesse diminuait et le dépôt des graviers commençait à s'effectuer. Ainsi la surface des vallées s'est recouverte, sur une hauteur plus ou moins considérable, d'un manteau de détritus provenant des roches détruites; remanié ensuite par les cours d'eau, ce dépôt est devenu celui que nous rencontrons aujourd'hui dans les basses terrasses et au fond des vallées.

A la vérité, un grand nombre de géologues regardent cette formation comme fluviatile, et pensent que les graviers qui la constituent ont été autrefois et sont encore aujourd'hui détachés des roches en place par les agents atmosphériques et charriés

par les petits cours d'eau. Cette théorie, parfaitement exacte pour les pays de montagnes, et, par conséquent, en particulier pour le Morvan, cesse d'être applicable aux terrains perméables comme ceux de la Champagne aride, par exemple, où les eaux pluviales ne ruissellent jamais sur le sol, et où les rivières, alimentées par des sources, ne sillonnent que les vallées les plus profondes où leur cours tranquille ne leur permet pas de remanier leurs graviers. On pourrait objecter que leur foree était plus grande à l'époque des grands cours d'eau de l'âge de pierre; mais une autre difficulté s'élève contre l'origine purement fluviatile des alluvions des basses terrasses : si les graviers des sablières de l'avenue Daumesnil ou de la rue du Chevaleret, à Paris, par exemple, ont été apportés par la Seine et ses affluents, on doit pouvoir suivre en amont ces dépôts le long des vallées secondaires dont le fond doit être tapissé des silex de la craie en Champagne, des fragments de meulières ou de silex ménilites dans la Brie. Il n'en est rien cependant, et à l'exception de quelques cônes de déjections modernes qui demeurent au débouché de petits rus latéraux, les vallées de la Brie, pas plus que celles de la Champagne, ne présentent les graviers crétacés ou tertiaires que nous trouvons si abondamment à Paris. Enfin, comment expliquer, sans admettre l'origine diluvienne de ces terrains de transport, la présence si fréquente d'énormes blocs de grès ou de meulières au sein de l'alluvion?

Mais nous aurons encore une confirmation nouvelle et bien frappante de cette manière de voir dans la présence et la disposition du limon des plateaux. Chacun sait en effet que les eaux limoneuses d'une inondation abandonnent toujours une couche plus ou moins épaisse de boue sur les plaines qu'elles ont momentanément recouvertes. On doit donc retrouver à la surface des plateaux le limon que le courant diluvien a dû laisser derrière lui dans sa retraite. Rappelons d'ailleurs que si la vitesse décroissante de l'eau atteint $0^{m},20$, les sables fins s'arrêtent et cessent de suivre le mouvement du courant qui emporte encore les matières argileuses ; celles-ci, à leur tour, commencent à se déposer quand la vitesse diminue jusqu'à $0^{m},15$. Mais il est une différence essentielle entre la matière dont les deux précipitations s'opèrent : les sables descendent rapidement au fond dès que la vitesse de l'eau ne suffit plus à les entraîner ; les limons argileux, au contraire,

ne s'abaissent que lentement, en nuage, disent les chimistes qui utilisent cette propriété pour séparer les sables des argiles par lévigation. Ces considérations s'appliquent merveilleusement, jusque dans leurs détails les plus minutieux, à la disposition des dépôts qu'il nous reste à faire connaître.

Sur tous les plateaux qui entourent Paris on observe une couche ocreuse, rougeâtre, que M. Belgrand appelle *limon rouge*. Ce limon manque généralement sur le bord des plateaux ou sur les pentes des vallées ; il se compose de deux couches bien distinctes : l'une, inférieure, grossière, sableuse, fait effervescence avec les acides ; délayée dans l'eau, elle se dépose immédiatement, et ne saurait être employée pour la briqueterie; la seconde, au contraire, est fine, argileuse, et se laisse mouler en briques. Mise en suspension dans l'eau, elle se dépose lentement, de sorte que si l'on a délayé le mélange des deux assises, la précipitation successive des deux couches reproduit dans le laboratoire leur séparation par les mêmes procédés que la nature.

Assez variable dans sa composition chimique, en raison de la diversité des terrains que le courant diluvien a traversés, ce limon présente néanmoins partout la distinction nette qui révèle si évidemment son origine. Qu'on se représente, en effet, le flot diluvien, coulant au-dessus des plateaux, alors qu'il n'a déjà plus assez de puissance pour les dénuder: il charrie encore d'abondants matériaux; mais le niveau continuant à s'abaisser, il arrive un moment où la vitesse descend au-dessous de $0^{m},2$; aussitôt les sables se déposent, et, plus tard seulement, les matières argileuses viendront lentement les recouvrir, Sur les bords et à plus forte raison au-dessus des vallées, la profondeur plus grande entretient le transport des alluvions, et ainsi s'explique l'absence du limon fin, partout où le sol ne présentait pas une sorte de palier horizontal, sur lequel pût s'arrêter ce léger dépôt que le moindre courant suffit à emporter. Sur certains points, l'action ultérieure des agents atmosphériques a pu entraîner le limon du plateau sur les pentes, mais cet effet, toujours local et aisé à reconnaître, ne saurait infirmer en rien la théorie précédente. Ici, comme précédemment, nous retrouvons la preuve de la nature violente et rapide du phénomène diluvien : s'il avait été lent et de longue durée, il aurait eu des périodes de crues et de décrues, et le limon des plateaux présenterait des zônes correspondantes.

D'ailleurs ce dépôt n'a pu se produire au sein d'une mer profonde et tranquille, car il existerait alors aussi bien sur les pentes et au bord des plateaux que vers leur partie centrale. Enfin sa formation a été contemporaine du creusement des vallées telles que nous les voyons : si, en effet, elles avaient préexisté, le flot diluvien les eût ravinées et élargies, avant de les remplir pour déborder sur les plateaux ; si, au contraire, elles étaient postérieures, le déplacement d'eau qui les aurait produites aurait nécessairement inondé d'abord les plateaux et par conséquent raviné ou emporté le limon rouge ; or celui-ci ne présente aucune trace d'une action de ce genre, et sa tranquille uniformité est un fait constant ; il faudrait donc admettre qu'il aurait été entièrement détruit et remplacé, et alors son existence primitive serait pour nous comme non avenue.

L'extrême facilité avec laquelle les dépôts vaseux se déplacent et la difficulté de leur précipitation dans les eaux en mouvement expliquent l'absence du limon des plateaux sur toute l'étendue des plaines ondulées de la Champagne, dont la surface accidentée d'une multitude de plis arrondis favorisait, pendant la période de la décroissance des eaux, l'existence de ces petites vagues produites par le vent, et connues sous le nom de *batillage*. On sait que sur les berges, même les plus adoucies des cours d'eau ou des canaux, le batillage empêche les dépôts vaseux, qui ne s'arrêtent que sur les bancs horizontaux. Aussi les véritables plateaux, ceux de la Brie, de la Beauce, sont-ils recouverts du manteau limoneux qui s'étend dans le bassin de l'Oise, et de là sur la Picardie et la Flandre. Ce qui montre que tel est bien le mécanisme du dépôt diluvien, c'est qu'il manque également sur les terrains oolithiques dont le relief présente les mêmes ondulations que le sol de la Champagne, et qu'il reparaît au contraire sur les terrains kelloviens et sur le lias, où il s'associe fréquemment avec des minerais de fer remaniés.

Tel fut le phénomène diluvien dans sa phase *rapide et violente*. Rien n'est encore venu prouver que l'homme ait vu s'accomplir dans nos contrées cette immense inondation. A la vérité quelques découvertes, malheureusement isolées, tendraient à le faire croire : ainsi, M. le commandant Laussedat a recueilli en Au-

vergne, à la limite entre les couches éocènes et les premières assises miocènes, une mâchoire de rhinocéros, qui portait des traces d'incisions dont l'origine semblait devoir être attribuée à un instrument tranchant ; il en est de même pour une côte d'halithérium, provenant des faluns, et trouvée par M. l'abbé Delaunay ; enfin, M. l'abbé Bourgeois a signalé dans les calcaires de Beauce des silex qui paraissent taillés intentionnellement. Toutefois l'opinion de la science est réservée, et les faits sont trop peu nombreux pour qu'elle puisse se prononcer sur l'existence de l'homme aux époques éocène et miocène. Au contraire, pour la période dans laquelle nous entrons, après le creusement des vallées, les preuves de la présence de l'homme dans le bassin parisien, deviennent aussi nombreuses qu'incontestables.

II

L'AGE DE PIERRE.

A la fin du grand phénomène de destruction, le relief du sol était, dans toute l'étendue du bassin de la Seine, à peu près ce qu'il est resté depuis lors. Les agents atmosphériques l'ont peu modifié; les oscillations du sol ont transformé les cours d'eau, mais sans altérer l'aspect général de la contrée dans ses caractères orographiques. Nous ne reviendrons pas sur la description géologique que nous avons esquissée en parlant du phénomène diluvien lui-même; nous ne rappellerons pas les ceintures successives de terrains différents qui entourent Paris, depuis les chaînes oolithiques de la Bourgogne, jusqu'aux grands escarpements qui limitent la Champagne sèche, et montrent le couronnement des calcaires de la Brie. Là commence un grand plateau qui s'étend jusqu'à la mer, et qu'interrompent seulement la dénudation de la plaine Saint-Denis et du Valois, et plus loin le long fossé du pays de Bray. Mais à l'époque où nous nous transportons par la pensée, ces contrées, maintenant si riches et si variées, présentaient l'aspect le plus désolé. Tous les plateaux étaient uniformément couverts d'un limon stérile; toute végéta-

tion, tout être vivant, avaient disparu, et les vallées étaient parcourues par des fleuves immenses qui ravinaient les pentes des coteaux et donnaient lieu, par l'action fluviale, à des dépôts que nous devons étudier maintenant. Il a fallu sans doute un temps fort long pour que la vie végétale pût reparaître de nouveau, et permettre ensuite le retour des grands animaux, si nombreux pendant la période où nous entrons. L'homme apparaît lui-même, et c'est dans les graviers des fleuves de cette époque que nous retrouvons en abondance ces silex éclatés, ces haches de pierre taillée, qui constituaient alors les seuls instruments dont il pût faire usage. Plus tard, dans une phase plus récente, lorsque la tourbe envahira nos cours d'eau, l'industrie humaine accomplira un progrès remarquable. La pierre polie et bientôt le bronze remplaceront les grossiers ustensiles de la période antérieure; en même temps commencera la domestication des animaux; c'est l'aurore de la civilisation. Aussi, en nous restreignant au seul bassin de la Seine, pourrons-nous appliquer le nom d'*âge de la pierre taillée* à la longue durée pendant laquelle s'est lentement accomplie l'évolution qui a réduit les grands cours d'eau aux proportions de nos rivières modernes. C'est donc le régime de ces fleuves qu'il nous faut étudier, ainsi que les lois de leur transformation. Ici encore, c'est la pratique et la connaissance des faits actuels qui vont nous permettre de comprendre, dans leur succession régulière, tous les phénomènes que l'observation avait constatés depuis longtemps, sans que la science pût encore en offrir une explication rationnelle.

Nous avons déjà remarqué que sur les terrains imperméables aux eaux pluviales, comme les granites du Morvan, le lias, les argiles du terrain crétacé inférieur, et les argiles tertiaires, les cours d'eau sont nombreux, très-limoneux en temps de crue, et donnent lieu à des inondations violentes. Tout autre, au contraire, est l'allure des rivières qui coulent sur un sol perméable, comme celui des calcaires oolithiques, de la craie blanche ou des sables tertiaires : peu nombreuses, filtrées par le sol même qu'elles doivent traverser avant de s'écouler au fond de la vallée principale, elles ne peuvent subir que des crues lentes et prolongées, dont les eaux ne sont jamais troublées par des sables et des argiles. Cependant nous verrons que l'abondance des pluies, pendant

l'âge de la pierre, permettait aux eaux pluviales de ruisseler même sur les terrains perméables de la Champagne. Mais la règle capitale qui résume dans une formule élémentaire les lois mêmes auxquelles les phénomènes se montrent partout assujettis peut s'énoncer ainsi : « Dans les tournants des cours d'eau, le courant se porte contre la rive concave et tend à la corroder; les matières entraînées par l'eau, les sables, les graviers, les limons grossiers et les corps flottants, sont emportés par le courant réfléchi sur la rive convexe, et y forment des dépôts. » Seulement, comme au début de l'époque que nous étudions, le lit des cours d'eau remplissait toute la largeur de la vallée, il faut concevoir que la *rive* d'alors était le *coteau* d'aujourd'hui. C'est une loi facile à vérifier dans les nombreux tournants de la Seine, surtout entre Paris et Rouen : dans les parties rectilignes, le dépôt de transport est réparti des deux côtés du fleuve; dans les sinuosités, il occupe les caps en aval du sommet de la courbe; partout enfin, le fleuve serre de près le coteau concave, qu'il détruisait évidemment à l'âge de la pierre, pour en transporter les éléments sur la rive opposée. Il en résulte que les dépôts des caps d'atterrissement n'ont pas été remaniés, tandis que les terrains de transport des parties rectilignes peuvent avoir été repris à diverses époques par le fleuve divaguant sur le fond plat de la vallée. Les autres cours d'eau, comme la Marne, l'Oise, donnent de nombreuses vérifications de la même loi. Les anses déterminent également le dépôt des matériaux charriés et des corps flottants. Chacun sait que tout obstacle latéral au mouvement de l'eau engendre un remous, un tourbillon à axe vertical, puis occasionne la précipitation des sables qu'entraînait le courant; c'est un effet qui se remarque à l'aval des piles de nos ponts. Toutes les grandes anses ont donc donné lieu à la production de terrains de transport, dont la position est aussi bien délimitée que celle des caps d'atterrissement. Nous savons déjà que les anses sont nombreuses dans les vallées modelées par le flot diluvien, alors qu'il affouillait un obstacle et y creusait de larges fosses, pour les réunir ensuite en un sillon profond plus ou moins oblique à sa direction. Telle est en particulier la vallée de l'Oise entre la Champagne et la Seine, ou celle de la Marne, depuis Lizy-sur-Ourcq jusqu'à Paris. Enfin, il est une troisième position qu'affectent aussi les terrains de transport : on les ren-

contre aux confluents des vallées secondaires. Si l'affluent est considérable, les deux courants se repoussent, et entre eux s'étend une région où les eaux tranquilles laissent déposer les sables et les corps flottants; si l'affluent est peu important, ce sont les alluvions du cours d'eau principal qui remontent dans la vallée secondaire comme dans une anse. Telles sont les dispositions des terrains de transports, tels sont les points où la théorie indique qu'ils doivent exister, et l'observation est venue pleinement vérifier ces lois fondamentales : partout les alluvions se sont trouvées en effet dans la situation que leur assignait leur origine ainsi comprise; partout les restes organiques se sont rencontrés précisément dans les mêmes conditions. Il est donc établi, par l'examen des faits, que les dépôts confondus sous les noms de *diluvium* ne se rattachent que fort indirectement au torrent diluvien qui en a seulement apporté les matériaux, et sont en réalité le résultat du remaniement lent et continu des alluvions par les grands fleuves qui ont succédé au flot dévastateur.

Le travail d'abaissement du lit d'un cours d'eau provoque le déplacement des graviers, suivant des lois fort simples. Tant que le lit demeure invariable, la hauteur des sables ne paraît pas changer, même aux points les plus favorables à l'accumulation des graviers, sur les caps d'atterrissement ou dans l'échancrure des anses. Mais si le fleuve approfondit son lit ou corrode l'une de ses rives, il transporte les matériaux de ce déblai généralement sur l'autre rive, en vertu de l'inflexion du courant, et les emploie à remblayer le lit devenu trop large. Alors, sur la rive non attaquée, le niveau des graviers s'élève peu à peu jusqu'à l'altitude de la rive, qui ne saurait être dédépassée : c'est *l'alluvion*. Ainsi se comportent sous nos yeux toutes les rivières qui modifient la forme du fond mobile sur lequel s'écoulent leurs eaux, et tel fut aussi le régime des grands fleuves de l'âge de pierre, comme on peut s'en convaincre en examinant l'une des nombreuses sablières exploitées à Paris, ou dans les principales vallées du bassin. On y remarque une succession de zones, assez confuse dans ses détails et ses limites, mais cependant fort nette dans ses traits généraux. C'est d'abord, à la partie inférieure, plusieurs couches alternantes de graviers et de sables qui, au moment de leur dépôt, étaient au-dessous

du niveau des eaux moyennes, et par conséquent faisaient partie du revêtement du lit. Si ces *graviers de fond*, suivant la dénomination expressive que M. Belgrand leur assigne, se sont déposés en plein courant, ou dans les portions rectilignes du fleuve, ils sont pauvres en fossiles et renferment à peine quelques dents roulées et usées; mais lorsque les graviers se sont accumulés à l'abri d'un tournant ou dans une anse ouverte, ils constituent un riche gisement, rempli d'ossements de grands animaux de race éteinte, de coquilles fluviatiles ou terrestres, et enfin de silex taillés. Au-dessus de ces premières couches, viennent, sur une épaisseur beaucoup plus puissante en général, des masses de graviers et de sables de plus en plus fins; c'est l'*alluvion* propredite. D'après la manière dont elle s'est formée elle ne faisait plus partie du lit, et lorsqu'elle a atteint le niveau de la berge, elle s'est récouverte fort souvent alors, comme sur les bords de nos rivières, d'une mince couche de sable terreux, que nous désignerons avec M. de Mercey sous le nom de *sables gras*. Il est fort rare de rencontrer dans l'alluvion des ossements fossiles ou des restes de l'industrie humaine. Enfin, l'alluvion est ordinairement surmontée d'un double revêtement peu épais : c'est le relais des eaux de débordement, alors qu'au moment des crues elles couvraient la berge remblayée, et s'étendaient même dans la vallée au delà des contours du lit abandonné. Quand elles rentraient ensuite dans les limites qui correspondaient aux eaux moyennes, elles entraînaient d'abord les parties meubles superficielles, et donnaient lieu ainsi à la formation d'une couche mince de graviers peu roulés, sur lesquels enfin s'étendait le manteau limoneux que les eaux troubles laissent toujours derrière elles en se retirant. Ainsi se justifient pleinement les noms de *gravier* et de *limon de débordement* attribués aux zones supérieures des sablières.

Il est évident que si l'abaissement du lit a lieu sur une grande hauteur, par une chute, le dépôt d'alluvion ne peut plus se former, et les sables sont entraînés au pied de la cascade. Alors l'alluvion et les sables gras manquent dans la série, le limon des débordements recouvre directement les graviers de fond, et pénètre souvent par infiltrations dans leur masse que ne protége plus la couche imperméable de sables gras.

On a parfois considéré les gros graviers et les blocs que l'on

rencontre, dans les terrains de transport, comme n'ayant pu être déplacés et entraînés par des cours d'eau, et dès lors on voulait voir dans leur présence une des preuves de l'origine diluvienne de ces dépôts. Toutefois, bien qu'une rivière dont rien n'arrête le courant régulier n'entraîne ordinairement que des sables, tandis que les graviers demeurent pour tapisser le fond, on sait par les nombreux enseignements de la pratique journalière que si un banc de gravier oppose une résistance au courant, celui-ci l'affouille et le déplace en entier avec une force irrésistible bien capable d'emporter avec lui les blocs qui y seraient mêlés. C'est, du reste, par l'emploi de vannes mobiles percées de trous qu'on détermine l'affouillement et le mouvement des bancs qui ensablent les égouts de Paris. Ainsi s'explique le transport des blocs, mélangés aux cailloux et aux graviers. D'ailleurs, pour ceux-ci comme pour les sables, l'expérience est venue confirmer les résultats de l'observation; on a constaté que le mouvement des bancs s'effectue par rides, comme celui des dunes, sous l'effort du vent. Beaucoup de sablières[1] laissent voir dans les couches de l'alluvion de petits lits inclinés, des ridements parallèles qui attestent que tel fut aussi le mode de déplacement de ces masses sableuses, nouvelle preuve de l'origine fluviatile de leurs dispositions actuelles.

Les dépôts de transport que nous étudions se rencontrent, dans l'étendue du bassin de la Seine, à des altitudes variées, et surtout fort différentes du niveau des cours d'eau modernes. C'est ainsi qu'à Paris même on retrouve les vestiges évidents des lits successifs de la Seine, et le plus élevé atteint sur les hauteurs de la plaine de Montreuil l'altitude de 55^m, et sur la terrasse d'Ivry, à Vaugirard, l'altitude de 60 et même 63^m, c'est-à-dire 29 à 37^m au-dessus de l'étiage actuel. Si, avec M. Belgrand, on trace sur une carte l'horizontale de 60^m, on a une limite fort approchée, sinon du niveau des eaux moyennes, du moins de la position du fond de l'immense fleuve de l'âge de pierre. En prolongeant cette ligne sur les deux flancs de la vallée de la Marne qu'elle traverse entre la Ferté-sous-Jouarre et Château-Thierry, et dans la vallée de la Seine, au moins de Cor-

1. Notamment la sablière Tarsieux, à Levallois-Perret.

beil à Meulan, on a pour les environs immédiats de Paris, la configuration et l'étendue des lits, l'indication précise des anses où venaient échouer les cadavres flottants, etc. Il en serait de même pour l'Oise jusqu'à Viry-Noureuil, entre la Fère et Chauny, et probablement pour la Seine, jusqu'à Moret. C'est ce que M. Prestwich a proposé d'appeler les *hauts niveaux*, dénomination commode au moins dans la pratique. Dans la traversée des terrains tertiaires, jusqu'à la craie de Champagne, en amont des trois points que nous venons d'indiquer sur la Seine, la Marne et l'Oise, les hauts et les bas niveaux se confondent; ce n'est que dans la Champagne et dans la Bourgogne qu'ils se séparent de nouveau. En aval de Meulan, la vallée devient trop large, pour que l'on puisse tracer les limites des hauts niveaux; cependant, il est permis de croire qu'ils se maintenaient à peu près à l'altitude de 60^m, car on rencontre des terrains de transport fluviatiles à ce niveau à Mantes-la-Ville, à 58^m à Venables, à 48^m près d'Elbeuf. Le continent devait donc être notablement plus bas qu'aujourd'hui, et la Seine, la Marne et l'Oise, coulaient avec une pente très-faible dans toute l'étendue du parcours que nous avons défini. Alors l'emplacement de Paris était presque entièrement immergé, et quelques îlots s'élevaient seuls au-dessus du fleuve, aux buttes Chaumont, au plateau de Montrouge, à Montmartre, à la Butte-aux-Cailles, etc... La plaine Saint-Denis, elle-même, était un vaste marais, dont la largeur atteignait 30 kilomètres. Vers Sevran, un défilé long et plat, compris entre les coteaux de gypse de Livry, et le plateau de Blanc-Mesnil, qui relie la plaine Saint-Denis à la vallée de la Marne, est resté célèbre par les nombreux ossements que l'on y découvrit au moment de la construction du canal de l'Ourcq, et dont Cuvier donna la description. C'est à l'altitude de 62^m,9, c'est-à-dire au point le plus haut de ce défilé, par lequel communiquaient alors la Marne et la Seine, qu'ont atterri les cadavres flottants charriés par les eaux.

L'anse de Montreuil est un autre point des hauts niveaux auquel s'attache également un grand intérêt paléontologique. Ici le sable et le gravier, en général assez fins, alternent par zones que recouvrent les sables gras. Le sable est pur et ne tache pas les doigts; abondant en débris de coquilles fluviatiles ou terrestres et en fossiles brisés du calcaire grossier, il fait une vive

effervescence avec les acides ; les cailloux sont à peine roulés, et souvent des zones entières sont composées de fragments de calcaires siliceux arrachés aux collines voisines. A la partie supérieure s'étend le limon rouge des débordements; il recouvre la masse entière sans y pénétrer sous forme de dentelures profondes, imitant à première vue les poches et les ravinements, comme on le verrait aisément sur d'autres points où manquent les sables gras, par exemple à l'avenue Daumesnil, ou, mieux encore, à la tranchée du chemin de fer de ceinture, près le souterrain de la Maison-Blanche. Ici, en effet, les sables gras faisaient complétement défaut ; la masse entière est alors pénétrée de limon rouge, et ce fait est à peu près général dans les sablières des hauts niveaux de la plaine d'Ivry. Cependant, à l'abri d'une petite anse, s'est formé là aussi (sablière du Kremlin) un dépôt fort analogue à celui de Montreuil, et riche comme lui en ossements fossiles. Ce fait indique bien nettement que le fleuve de l'âge de pierre remplissait toute la largeur de son lit; autrement les sables gras auraient recouvert les berges abandonnées, et on les retrouverait dans les coupes des sablières, tandis que leur présence n'est signalée que dans les deux anses que nous avons décrites.

C'était là d'ailleurs un état de régime permanent, qui a nécessairement duré fort longtemps, comme l'attestent les nombreux restes d'animaux que l'on trouve enfouis dans le gravier de fond des sablières. Nous avons déjà dit que les limons des plateaux, relais des eaux diluviennes, non plus que les dépôts de transport des hautes terrasses, lits éphémères du torrent lui-même, n'avaient jamais fourni aucune trouvaille paléontologique. La nature du phénomène, *sa violence et sa rapidité*, impliquent du reste, dans les formations de la phase de décroissance, l'absence de toute dépouille des animaux qui peuplaient la contrée *avant* le cataclysme ; et c'est en effet ce que l'on peut observer dans toutes les grandes crues.

Les animaux quaternaires ont donc vécu *après* le phénomène diluvien, et leurs ossements, que nous retrouvons dans les graviers des fleuves de l'âge de pierre, témoignent de leur existence pendant la période d'abaissement et de modification des lits. Il suffit d'ailleurs de se rendre compte des conditions dans lesquelles peuvent s'accumuler et se conserver dans les dépôts flu-

vi.t es les dépouilles des animaux terrestres, pour s'expliquer leur présence dans les graviers de fond, et leur absence dans les couches plus élevées de l'alluvion et des limons des débordements. Les cadavres, gonflés par les gaz, flottaient sur les eaux, et, charriés par le courant, allaient atterrir à l'aval des tournants ou dans les anses abritées; les membres, désunis par la décomposition, étaient généralement disséminés par les crues; d'ailleurs, les animaux ne pouvaient se noyer ou être entraînés par les eaux que sur les points où la profondeur était suffisante, c'est-à-dire sur les graviers de fond, et cela proportionnellement à la taille même des cadavres. Au contraire, sur l'alluvion qui ne faisait plus partie du lit, les ossements exposés à l'air n'auraient pu se conserver que par exception, et, à plus forte raison, en était-il de même pour les dépôts des débordements. Enfin, les silex taillés, eux aussi, ne se trouvent que dans les couches profondes qui correspondent aux anciens lits. En général, ils ne présentent pas de traces de roulure et d'usure; parfois ils sont réunis cependant sur un même point en très-grande quantité : dans les sablières de Levallois, M. Reboux en a recueilli quatre mille. Tout indique donc que les sauvages habitants des rives de la Seine venaient chercher les seuls silex dont ils pussent faire usage précisément dans le lit même du fleuve. Ils les dégrossissaient sur place, et les transportaient ensuite à quelque distance du bord pour en achever le travail. Voilà pourquoi notamment les *nucleus* sont plus abondants dans les couches inférieures, tandis que les couteaux et les haches remontent jusque dans l'alluvion.

Ainsi la paléontologie apporte une preuve des plus significatives en faveur de la théorie de l'alluvionnement. Plus n'est besoin, pour expliquer la richesse du diluvium gris et la pauvreté du diluvium rouge, de recourir à plusieurs déluges dont la disposition des terrains de transport ne permet pas d'admettre la succession, et dont il faudrait d'ailleurs imaginer la répétition aussi bien pour les bas niveaux que pour les hauts niveaux. Inutile également de supposer la disparition progressive des espèces quaternaires, et de considérer le mammouth, par exemple, comme s'étant éteint avant le renne, la présence des grands ossements dans les couches les plus basses n'étant que la conséquence de la taille des cadavres et de la profondeur d'eau

nécessaire pour les charrier. C'est ce que prouvent, et la répétition de même disparition successive dans les bas niveaux, et aussi la fréquence des ossements de jeunes individus des grandes espèces associés dans les assises supérieures aux débris des animaux de moindre stature. Il est évident, d'ailleurs, que des circonstances exceptionnellement favorables peuvent avoir permis sur certains points, même dans l'alluvion, la conservation de fossiles ou l'apport de silex taillés, et ce fait, impossible dans les formations sédimentaires régulières, n'a rien d'incompatible avec la nature des terrains de transport.

Il s'est écoulé ainsi un temps considérable dont la durée précise échappe d'ailleurs à toute appréciation, et pendant lequel les fleuves de l'âge de pierre remplissaient leurs lits des hauts niveaux, les modifiaient peu à peu suivant les lois que nous avons énoncées, et enfouissaient dans leurs graviers de fond les ossements des mammifères quaternaires avec les ustensiles de pierre taillée que l'homme abandonnait sur leurs rives. Alors la Seine, dont les hauts niveaux se rencontrent jusqu'auprès de l'océan à l'altitude de soixante mètres, devait, ainsi que la Marne, couler presque sans pente depuis la Champagne et la Brie jusqu'à la mer. Comme on ne peut admettre à l'embouchure l'existence d'une chute aussi considérable dans les terrains si peu résistants de cette partie du bassin, il faut bien reconnaître que le continent était alors moins élevé qu'aujourd'hui ; c'est son soulèvement lent qui a motivé le creusement du lit des fleuves en augmentant leur pente.

Toutefois cet effet s'atténue peu à peu et ne s'est pas fait sentir au delà des limites des assises tertiaires de la Brie ; là les hauts et les bas niveaux se confondent. Mais ils se séparent de nouveau dans la traversée des terrains crétacés, jurassiques et granitiques, et la pente considérable des cours d'eau suffit à expliquer l'approfondissement de leur lit. Il nous suffira d'en citer un exemple. Le Cousin sort d'un étroit défilé granitique à Pontaubert, près d'Avallon, pour entrer dans une large vallée creusée dans le lias; les hauts niveaux sont ici à 20 mètres au moins au-dessus de la rivière actuelle. A 12 ou 15 kilomètres en aval, dans la vallée de la Cure, les hauts niveaux sont à 15^{m} au-dessus des eaux moyennes près des grottes d'Arcy. La pente était donc

pendant la première période de l'âge de pierre plus grande qu'aujourd'hui et dépassait alors de beaucoup un mètre par kilomètre. On trouverait de même que l'Yonne avait une pente de 0m,46 entre Auxerre et Moret, et que celles de la Seine et de la Marne n'étaient pas moins considérables. La vitesse qui en était la conséquence était suffisante pour entraîner aisément tous les graviers abandonnés par le torrent diluvien, mais elle ne donnait pas au cours d'eau la puissance nécessaire pour affouiller de nouveau les roches résistantes. Alors les matériaux emportés n'étaient pas remplacés et le lit se creusait peu à peu. Cet abaissement a dû être très-rapide, et nous en donnerons pour preuve un fait paléontologique fort important. Les terrains de transport des vallées à fortes pentes manquent, il est vrai, dans le Morvan, mais dans les terrains jurassiques ou crétacés ils prennent un développement souvent très-notable. Exploités sur un grand nombre de points, ils n'ont cependant fourni que quelques ossements de cerf, de castor, de bouquetin, de cheval ou de mammouth. L'extrême rareté des silex taillés ou des débris fossiles dans une contrée que l'homme habitait dès lors au milieu de la faune quaternaire, comme le prouvent les riches dépôts des brèches osseuses et des cavernes de Genay, près Sémur, de Pouillenay, de Balot, etc., ne saurait s'expliquer autrement que par la rapidité de l'abaissement du lit, et c'est ce que confirme encore l'examen des Grottes d'Arcy. Celle qui a offert à M. le marquis de Vibraye un si grand nombre d'ossements s'ouvre au bord même de la Cure, et les couches fossilifères qui ne dominent que de 3 à 9 mètres le niveau des basses eaux pourraient encore être recouvertes au moment des crues. Les graviers que nous avons signalés à 15 mètres au-dessus de la Cure ne faisaient plus partie du lit alors que l'ours des cavernes habitait les grottes où l'on rencontre avec lui l'hyène des cavernes, le rhinocéros aux narines cloisonnées, l'hippopotame, le mammouth, le cheval, etc. Par conséquent, dès la période que caractérise spécialement l'*ursus spelæus*, dès le début de l'âge quaternaire, le lit de la Cure était à peu près à son niveau actuel, et l'on en peut dire autant des autres cours d'eau dans les vallées à pentes rapides.

Dans la traversée de la Brie et de la Normandie, l'abaissement des lits ne s'est pas effectué d'une manière insensible, bien qu'il

provienne d'un relèvement peut-être continu du sol de la région entière. A mesure que le continent s'exhaussait, une chute en résultait à l'embouchure, et quand elle était assez considérable, le fleuve avait alors la puissance de creuser son lit d'abord près de la mer, et ensuite de proche en proche jusqu'à la Brie et à la Champagne.

Les graviers de fond des diverses sablières ne sont donc nullement contemporains, et c'est encore l'un des motifs qui doivent faire rejeter les appellations confuses et insuffisantes de diluvium gris *inférieur*, *moyen* ou *supérieur*.

Il y eut dans le travail d'abaissement que le lit des grands fleuves de l'âge de pierre a subi, d'abord une période de continuité pendant laquelle les hauts niveaux descendirent peu à peu à Paris de l'altitude de 60 mètres jusqu'à celle de 51 mètres; puis un relèvement brusque du continent a amené un approfondissement rapide, et les bas niveaux ne se présentent qu'à l'altitude de 36 ou 38 mètres. A la vérité, sur certains points (tournants du champ de Mars et du bois de Boulogne) on observe quelques lits intermédiaires, mais ils ne dépassent jamais la cote 41 et se relient d'ailleurs aux bas niveaux. Il demeure donc évident qu'une solution de continuité sépare nettement les hauts et les bas niveaux, non-seulement à Paris, mais aussi dans tout le reste du bassin. C'est alors que la Seine a cessé d'avoir un parcours rectiligne entre Paris et Rouen; les graviers des hauts niveaux recouvrent en effet plusieurs des caps que le fleuve moderne contourne dans ses nombreux méandres. La différence d'altitude des hauts et des bas niveaux, et, par suite, la hauteur de la chute qui en a motivé la séparation, augmente à mesure que l'on s'approche de la mer; elle est de 43 mètres à Venables, et devait atteindre environ cinquante mètres au rivage de l'océan. Divers travaux souterrains, tels que le tunnel de Saint-Maur, le passage de l'égout collecteur de la Bièvre sous la butte de l'Étoile, ont permis de retrouver encore dans l'allure tourmentée et disloquée des couches, à l'aval des tournants, la preuve manifeste de la violente action qui a marqué la séparation des hauts et des bas niveaux.

Si les premiers graviers fluviatiles que nous avons signalés à Montreuil ou à Ivry ne se rencontrent qu'en lambeaux dans les anses ou à l'extrémité des caps, les dépôts de transports qui leur

ont succédé dans la seconde période de l'âge de pierre se sont étendus en cordons continus dans toutes les grandes vallées crétacées ou tertiaires, et nous les retrouvons à Paris, formant des plages d'alluvions à Grenelle ou à Levallois, sur une largeur qui atteint 2 kilomètres à l'aval des grands tournants du champ de Mars et du bois de Boulogne. Le limon rouge n'a presque jamais pénétré dans la masse, soit pour l'imprégner en entier comme à Ivry, soit pour y figurer ces profondes dentelures que nous avons signalées plus haut dans les coupes de l'avenue Daumesnil. Grâce à la continuité du travail d'abaissement, les sables gras se sont partout déposés sur l'alluvion et l'ont protégée contre l'infiltration des limons supérieurs comme pour les graviers des hauts niveaux dans l'anse de Montreuil. Aussi le *diluvium rouge* d'Ivry était-il considéré comme un type, tandis que les formations de transport de Levallois ou de Grenelle représentaient le *diluvium gris*.

Ces dénominations ne correspondent évidemment à aucun caractère géologique constant, et doivent dès lors disparaître devant une terminologie rationnelle qui s'accorde avec l'origine des dépôts de transports et n'introduit pas dans leur distinction de nouvelles causes de confusion. La coupe des anciens lits des bas niveaux à Levallois donne une confirmation nouvelle et des lois générales de l'alluvionnement et de leur application spéciale à la formation des terrains de transport de nos vallées. Ainsi on peut constater par la disposition des graviers de fond que toujours le fleuve a été plus profond sur la rive concave, qu'il a de tout temps serré de près le coteau concave et reporté ses alluvions, par réflexion du courant, au pied du coteau convexe. Là aussi se voit la succession régulière des graviers de fond, souvent si riches en ossements et en silex taillés, puis de l'alluvion que recouvrent les sables gras et, au-dessus, la mince couche de cailloux non roulés, enfin le limon des débordements. La série est très-complète et se reproduit, comme on le voit, dans le même ordre et avec les mêmes caractères que dans les hauts niveaux. Tous les détails des assises se voient dans les nombreuses sablières de Grenelle ou de Levallois. C'est d'abord la disposition des lits sableux inclinés et ondulés, indice du mouvement qui les a transportés par le même mécanisme qui déplace les dunes sous l'effort du vent. C'est ensuite la forme lenticulaire ou amygda-

loïde qu'affectent souvent les amas de sables, et qui, sur ce point, atteste la présence d'un tourbillon, que vient confirmer aussi l'abondance des ossements que l'on rencontre fréquemment dans le centre de ces dépôts limités. Dans l'une des exploitations du village Levallois, M. Reboux a constaté que les graviers de fond étaient imprégnés d'une poudre noire qui n'est autre que du peroxyde de manganèse; on en a signalé aussi la présence sur d'autres points et notamment dans les graviers des hauts niveaux de la rue Monge. C'est le seul élément étranger au bassin de la Seine qui se trouve dans les terrains de transport. Les découvertes paléontologiques viennent aussi confirmer les vues que nous avons exposées : toujours les ossements se présentent dans les graviers de fond et jamais ailleurs; la faune, du reste, n'a pas varié depuis l'époque des hauts niveaux, et l'association des espèces demeure la même, ce qui réfute l'idée de leur extinction successive dès la première partie de l'âge de pierre. Toujours les silex taillés se montrent associés aux débris fossiles dans la même assise; leurs angles vifs, leur état de conservation montrent bien qu'ils ont été travaillés ou apportés sur la grève par la main de l'homme et non charriés et roulés par les eaux. Enfin, les restes si évidents des anciens lits peu à peu remaniés, abandonnés et remblayés, impliquent si nettement la preuve de l'action fluviatile qu'il est impossible, en présence de pareils témoignages, de recourir à la théorie diluvienne et de considérer les formations de transport comme les relais d'une immense inondation, dont l'indubitable effet eût été de leur donner une disposition tumultueuse fort différente de l'allure régulière qu'elles affectent en restant soumises à des lois définies jusque dans leurs détails, et malgré la multiplicité et la confusion apparente de leurs aspects variés.

Indépendamment du limon des débordements, du limon rouge, qui a imprégné plus ou moins profondément les masses sableuses sous-jacentes, lorsque l'eau qui les pénétrait s'est écoulée peu à peu, on rencontre dans les sablières des couches alternantes de sables et de limons. Ceux-ci se sont donc déposés, comme les graviers, dans le lit même des cours d'eau : ils proviennent de la destruction des roches voisines dont ils présentent généralement la couleur. Dans les tournants, ils sont très-développés sur le bord convexe et empruntent alors leurs matériaux

aux détritus du coteau concave rongé par le courant : tel est le limon gris qui recouvre la rive droite, de Saint-Cloud à Clichy, et dont les marnes tertiaires des collines de la rive gauche ont fourni les éléments ; telles sont aussi les zones de sables verdâtres qui, en amont de Troyes, alternent avec la grève crayeuse et témoignent par leur couleur caractéristique qu'ils se sont formés aux dépens des coteaux de green-sand de la rive opposée. Enfin, au débouché des vallées secondaires se présentent souvent des limons qui se sont déposés en raison de la grande diminution de vitesse des eaux refoulées par le courant principal : tels sont ceux de la vallée de la Bièvre, de Paris à Bourg-la-Reine, que l'on a désignés sous le nom de lœss ; tels aussi les dépôts de la vallée de l'Orge, à Savigny; de l'embouchure de la Vaucouleur, à Mantes. Ces limons jaunâtres, nettement séparés du limon des plateaux, sont remplis de petits tubes calcaires ; même dans de grandes vallées, comme celles de l'Oise ou de l'Yonne, tout ralentissement de vitesse de l'eau donnait lieu à des formations limoneuses souvent très-étendues.

M. Belgrand considère les limons des plateaux de la Brie comme diluviens, et provenant directement du torrent qui avait détruit les terrains miocènes. Beaucoup de géologues pensent au contraire que les limons rouges des plateaux sont postérieurs au dépôt des graviers, et contemporains de ce que nous avons appelé le limon des débordements, ainsi que de ces depôts que nous avons signalés dans diverses vallées secondaires, et que l'on regarde comme équivalents au lœss ou lehm du Rhin. D'après cette manière de voir, la fin de l'âge de pierre aurait été marquée par une inondation générale, dont l'effet eût été de répandre uniformément sur de vastes contrées les boues glaciaires de la Suisse. Nous croyons qu'après l'étude comparative des faits et de l'explication si complétement satisfaisante que l'éminent auteur de l'*Histoire du bassin de la Seine* en a proposée le doute ne sera plus possible, et nous voudrions espérer que notre court résumé pût lui-même suffire à produire une conviction semblable. Comment concevoir ce nouveau déluge, dont la phase violente n'aurait laissé aucune trace de ravinements, et dont la période décroissante se serait néanmoins accusée partout par un dépôt important? A la vérité, on a cru reconnaître une véritable

continuité entre le dépôt des plateaux et celui qui tapisse les flancs ou le fond de nos vallées. La liaison des deux formations est un fait incontestable en Belgique et dans la vallée de la Somme ; mais, sur les rives de l'Escaut, le limon des plateaux non-seulement descend se relier aux dépôts limoneux de la vallée, mais vient encore recouvrir la tourbe elle-même. Il est donc évident que, sous l'action des eaux pluviales, le limon rouge est fréquemment descendu des plateaux sur les pentes des coteaux, et c'est à ce phénomène, sans nul doute, qu'il faut attribuer la continuité apparente de deux dépôts que tant d'autres motifs, ainsi que nous l'avons exposé dans le cours de ce travail, doivent faire nettement distinguer.

Il est vrai qu'on a d'abord quelque peine à concevoir comment le bassin de la Seine, avec son étendue et sa configuration actuelles, pouvait, à l'âge de pierre, alimenter les fleuves immenses dont les lambeaux de graviers des hauts niveaux nous tracent les limites. Cependant l'étude du régime de la Seine moderne peut donner sur cette question les plus précieux enseignements. On reconnaît aisément que les crues des divers affluents se font sentir successivement dans la vallée principale, où leur effet est plus ou moins lent à se manifester d'après les conditions géographiques, et surtout suivant la nature géologique du sol. Sur les terrains imperméables où les eaux ruissellent de toutes parts librement, les crues sont *violentes* et *rapides*, mais quand les eaux fluviales doivent traverser le sol perméable et passer par les sources avant d'atteindre le thalweg, la crue est nécessairement plus lente et plus prolongée. Si donc, par un hasard fortuit, les pluies s'espaçaient convenablement, toutes les crues des affluents pourraient concourir simultanément à grossir la Seine, et celle-ci alors dépasserait les niveaux ordinaires de ses plus hautes eaux. Il en était ainsi à l'âge de pierre : nous avons, en effet, de nombreuses preuves de l'abondance des pluies qui permettait aux eaux de ruisseler, même sur les terrains perméables. L'une des plus manifestes nous est fournie par la constitution des sablières fluviatiles de la vallée de la Somme : à leur partie inférieure, des zones de cailloux roulés alternent avec des sables purs; or, avec le régime actuel et si tranquille de la rivière, avec l'absorption presque immédiate des pluies par le sol perméable du bassin, on ne saurait comprendre que les eaux aient jamais

eu assez de violence pour charrier les cailloux ou laver les sables ; il est évident que cet effet est dû à la grande abondance et au ruissellement des eaux pluviales. C'est ainsi que le limon des plateaux a été entraîné jusqu'au fond des vallées, où il semble se continuer par le dépôt limoneux des débordements. On a d'autres témoignages qui attestent également que la perméabilité du sol était insuffisante à absorber la totalité des pluies : les travaux de la dérivation de la Vanne ont mis à jour diverses coupes où le phénomène ancien a laissé aussi nettement sa trace qu'aux sablières d'Amiens. Les puits naturels du gypse de la colline de Montmorency sont encore au nombre des indices précieux à recueillir ici : au milieu d'un limon argilo-sableux, M. Desnoyers y a rencontré des ossements de plus de vingt mammifères quaternaires, associés à des débris de petits batraciens, ainsi qu'à des coquilles fluviatiles, terrestres ou lacustres ; preuve incontestable que ces cavités avaient été creusées par des eaux douces provenant de la surface du sol qui de nos jours absorbe sur place les pluies torrentielles. Le débit devait donc être singulièrement augmenté et par l'abondance des eaux qui s'écoulaient sur tous les terrains, en même temps qu'elles donnaient aux sources leur rendement maximum, et par la concordance des crues qui, avec ce régime, faisaient sentir simultanément leurs effets.

Une autre cause, indiquée par M. Dausse, concourait assurément à augmenter le débit des fleuves de l'âge de pierre : actuellement il tombe deux fois plus d'eau dans les six mois chauds que dans le reste de l'année, mais l'évaporation plus active empêche les rivières d'en profiter. Au contraire, alors que le renne et la marmote habitaient nos contrées, la température moyenne de l'été devait être, comme dans les cantonnements actuels de ces espèces, assez basse pour ne permettre qu'une évaporation presque nulle ; les rivières recueillaient donc tout le produit des pluies. Et l'on ne pourrait dire que le renne, comme il le fait dans les régions où l'été est trop doux pour lui, émigrait pendant la saison chaude : on trouve en effet les bois de renne à tous les degrés d'avancement qui correspondent aux divers mois de l'année. De même aussi le grand hippopotame, par sa seule présence, non-seulement dans le fleuve principal, mais même dans ses affluents, témoigne de la profondeur des eaux en toute sai-

son, c'est-à-dire d'un climat pluvieux et égal. Enfin, il ne faut pas perdre de vue que si le phénomène diluvien, dans sa phase violente, est contemporain du dépôt des alluvions anciennes des Alpes, les grands fleuves de l'âge de pierre étaient alimentés par les immenses glaciers qui ont laissé leurs moraines et leurs boues au-dessus de ces mêmes alluvions[1]. Ces considérations, quoique fort incomplètes, suffisent pour faire comprendre l'existence des grands cours d'eau, en tenant compte seulement des changements météorologiques que nous pouvons le mieux apprécier, et dont les preuves indubitables sont les plus faciles à exposer.

« Il y a eu nécessairement, dit M. Belgrand, entre l'ère des grands cours d'eau de l'âge de pierre et celle des petits cours d'eau de l'époque actuelle, un régime de transition qu'il est très-important de faire connaître; car ce changement, qui correspond probablement à la fin de l'époque glaciaire, paraît aussi remonter à une époque où se sont produites de profondes modifications dans les mœurs et les habitudes des sauvages populations qui habitaient alors la France. » Tandis que les graviers des hauts ou des bas niveaux offraient, comme les cavernes, l'association constante d'ossements des mammifères éteints ou émigrés de nos contrées, avec des silex simplement taillés, les tourbes qui marquent le début de l'âge suivant, montrent à la fois des instruments de pierre polie, puis des ustensiles de bronze et de fer, des ossements d'animaux domestiques etc... Ce développement de la

1. La comparaison du débit du glacier actuel de l'Aar, avec celui que pouvait avoir, toutes choses égales d'ailleurs, le glacier du Rhône, alors qu'il couvrait la vallée suisse et atteignait le Jura, fera mieux saisir l'importance de cette remarque.

Glacier de l'Aar.....	Bassin hydrographique.....	52 kil.carrés.
	Nevé et champs de glace...	44 —
Débit par jour en moyenne (du 20 juillet au 4 août 1845).		1 278 338^{mc}
Glacier du Rhône s'étendant jusqu'au Jura.	Longueur.............	150 kilomètres.
	Superficie.............	15000 kil. carrés.
Débit (supposé proportionnel à celui du glacier de l'Aar).		605 000 000^{mc}
Débit par 1''......	De ce glacier du Rhône........	7000^{mc}.
	Du Rhin à Kehl (eaux moyennes).	956^{mc}.
	Du Rhône à Genève (hautes eaux).	424^{mc}.

civilisation semble ainsi avoir coïncidé avec l'adoucissement du climat, avec la révolution météorologique qui a réduit les immenses fleuves de l'époque précédente aux dimensions de nos rivières modernes, et a fait disparaître la faune quaternaire, remplacée par nos animaux actuels.

Lorsque le lit d'une rivière est trop large pour le cours de ses eaux, elle le remblaye elle même sans cesse avec obstination, mais les matériaux qu'elle emploie à ce travail varient avec la nature violente ou tranquille de son régime normal. C'est ce que Cuvier et Brongniart avaient bien reconnu en disant : « Le terrain de transport du fond des vallées est, ou de sable, ou de limon proprement dit, ou de tourbe. »

Les marais tourbeux sont de deux espèces. Les uns *émergés*, se forment aussi bien sur les plateaux que sur les pentes, et la tourbe s'y développe au-dessus du niveau naturel de l'eau, par l'accumulation des débris des mousses du genre *sphagnum :* tels sont les dépôts tourbeux des roches primitives, dont les innombrables fissures absorbent les eaux pluviales, et fournissent aux sphaignes l'humidité dont elles s'imprègnent en si grande proportion. C'est le cas des tourbières des Alpes, des Vosges, et aussi du Morvan. Les autres, *immergés*, prennent naissance seulement dans les lacs, les étangs, et au bord du cours d'eau; la tourbe s'y développe au-dessous du niveau des eaux, qu'elle ne dépasse jamais. Les premiers peuvent être fort anciens, mais leur âge restera toujours incertain, car on n'y rencontre aucun reste organique qui puisse servir à le préciser. Au contraire, le long des rivières, les seconds ont pris parfois un accroissement considérable au début de l'époque moderne. La tourbe est un composé de végétaux ligneux dont la présence de l'eau retarde la décomposition, et qui sont seulement soumis à une combustion lente et incomplète; mais pour que le phénomène s'accomplisse, il faut que les eaux soient limpides et peu agitées. Les tourbières se formeront donc seulement le long des rivières tranquilles, à faible pente, dans les vallées largement ouvertes; autrement, le sol se draîne de lui-même, et les eaux ne peuvent séjourner dans le fond d'une vallée étroite et encaissée. C'est ainsi que dans la traversée des roches oolithiques, inférieures et supérieures, les marais tourbeux manquent complétement. Si le cours d'eau subit des crues violentes, elles emportent les débris

végétaux, qui ne sauraient alors s'accumuler; si même les eaux des crues roulent des limons abondants, ceux-ci empâtent tous les détritus, et la tourbe ne peut non plus prendre son accroissement normal. Il faut donc, au point de vue de la production des tourbières, distinguer soigneusement le régime des rivières : celles dont les crues sont violentes et limoneuses n'engendrent jamais de marais tourbeux; au contraire, celles dont les crues montent lentement et demeurent presque limpides sont éminemment favorables à leur développement.

Nous avons déjà plus d'une fois insisté sur ce fait que les terrains imperméables, sur lesquels ruissellent les eaux pluviales, sont nécessairement parcourus par des cours d'eau à allure torrentielle. Tels sont le granite, le lias, la craie inférieure, l'argile plastique, les marnes vertes, les argiles de la Brie, du Gâtinais. Aussi ne trouve-t-on pas de tourbières dans les bassins dont les versants sont ainsi constitués. Et nous voyons déjà qu'il ne dut y avoir aucune production de tourbe pendant l'âge de pierre, puisque alors les eaux ruisselaient même sur les sols perméables. Mais lorsqu'un changement météorologique, en adoucissant notre climat, vint diminuer l'abondance des pluies et favoriser l'évaporation estivale, toutes les vallées ouvertes dans les terrains perméables n'eurent plus, comme aujourd'hui, que des rivières tranquilles, sans crues violentes, sans eaux limoneuses. Tels sont les calcaires oxfordiens, et surtout la craie blanche, et aussi sur certains points le calcaire grossier, les sables moyens, les sables de Fontainebleau et le calcaire de Beauce. Les tourbières sont alors trop nombreuses pour que nous puissions les citer : rappelons seulement celles de Courcelles près Chatillon-sur-Seine; de Gévrolles, dans la vallée de l'Aube; les marais si connus de la Picardie; ceux enfin des vallées de l'Ourcq, de la Juine et de l'Essonne. Ce qui prouve que la production de la tourbe dépend en effet du régime des eaux et non de la nature du sol, c'est que là où les versants imperméables sont assez développés en amont pour donner au cours d'eau une allure violente, aucune tourbière ne se forme dans la traversée des terrains perméables. Ainsi l'Yonne et ses affluents doivent au granite du Morvan de parcourir la craie sans y engendrer de marais tourbeux; de même la Marne au sortir du lias de la banlieue de Langres, etc.

« Les dépôts tourbeux des terrains perméables du bassin de la Seine et de la Picardie sont, dit M. Belgrand, une des preuves les plus fortes de la rapide diminution du débit des cours d'eau à la fin de l'âge de pierre. » Ils remplissent en effet le dernier des grands lits; si, par un changement lent et graduel, le cours d'eau qui roulait des sables et des graviers, et dont les crues étaient limoneuses, avait insensiblement diminué de puissance jusqu'à devenir la rivière moderne, il aurait rempli l'excès de largeur de son lit d'abord avec du gravier, ensuite avec du limon, mais non avec de la tourbe.

Toutes les coupes montrent nettement ce changement brusque de régime, et les anciens lits de la Vanne mis au jour dans les travaux de dérivation, à Chigy, en offrent un bel exemple. Sur les graviers de fond du dernier grand lit, dont les berges sont aisément reconnaissables, s'étend une mince couche de limon que recouvre la tourbe. Ainsi la Vanne, lorsqu'elle a cessé d'être violente et de produire des alluvions sableuses en modifiant son fond, est restée limoneuse pendant une courte période de transition qui a vu s'effectuer le dépôt de la vase. C'est au surplus un fait général que M. d'Archiac avait déjà constaté dans les tourbières du département de l'Aisne. Le régime des pluies devait être déjà peu différent de ce qu'il est aujourd'hui, car les averses extraordinaires troublent les eaux de la Vanne; si elles avaient été plus fréquentes alors, la tourbe n'aurait pu se développer dans un courant limoneux. Au contraire, le débit diminuant brusquement, les eaux limpides se sont étendues sur un lit cent fois trop large et le marais tourbeux a pris un accroissement rapide que toutes les circonstances favorisaient. Là aussi, comme sur les versants de la vallée de l'Escaut, le limon rouge descend sur la tourbe; mais c'est là un fait très-récent et qui n'existait pas encore au temps où le marais a pris naissance. Les épaisses forêts qui couvraient la Gaule avant la conquête romaine se prolongeaient sans doute, même en Champagne, par des broussailles qui suffisaient à empêcher le ravinement du limon des plateaux. Le déboisement et l'assainissement du fond des vallées sont les deux obstacles que la main de l'homme a opposés à l'accroissement des tourbières; mais ce ne sont que des empêchements artificiels qui suspendent seulement la marche naturelle des phénomènes géologiques.

Les lois si simples que nous venons d'exposer, en prenant pour guides les excellents travaux de M. Lesquereux et de M. Belgrand, se vérifient dans tous les cours d'eau du bassin de la Seine. Sont-ils violents et torrentiels, ils remblayent leur lit devenu trop large par des graviers et des sables. Ont-ils, au contraire, une allure tranquille, leurs bords se garnissent de marais, qui résultent d'un remplissage tourbeux. Enfin la même rivière, suivant les terrains qu'elle traverse, peut avoir l'un ou l'autre de ces caractères ; alors elle aura des tourbières échelonnées sur différentes sections de son parcours : ainsi le Petit-Morin, exempt de tourbe sur les argiles de la Brie, a formé en amont, dans la craie blanche, le marais de Saint-Gond ; ainsi encore la Seine, qui a rempli de tourbe son dernier grand lit dans la Champagne, change de régime à Montereau après avoir reçu l'Yonne que les granites du Morvan et le lias de l'Auxois rendent violente et torrentielle ; alors disparaissent les marais jusqu'au confluent de l'Oise. Dans la dernière partie de son cours, la Seine ne reçoit aucun affluent violent capable de modifier son régime ; aussi les tourbières ont reparu jusqu'au moment où l'Yonne, la Marne et l'Oise, ayant achevé leur travail de remplissage, ont charrié dans la vallée principale leurs matériaux sableux sans emploi. C'est ainsi qu'à Meulan, à Martot, près d'Elbeuf, on a retrouvé des couches de tourbe sous l'alluvion moderne de sables et de limon. Dans cette dernière localité, on a rencontré non-seulement des ossements de mammifères, mais encore un très-beau crâne humain, de race celtique, d'après le docteur Pruner-Bey. Nous sommes ainsi arrivés aux confins de l'âge historique, ou du moins au début de la période qui l'a immédiatement précédé. Ce sont également les bornes de cette étude.

Nous avons constaté que le relief du bassin de la Seine, son orographie et la disposition des vallées et des plateaux sont dus à de puissantes érosions. Leur violence est accusée par une disparition complète des blocs de roches solides à la surface des plateaux, rasés en même temps que les vallées se creusaient tantôt dans le sens même du courant que jalonnent des témoins de terrains miocènes, tantôt par affouillements et fosses dans une direction plus ou moins oblique. Ainsi s'expliquent les circonstances accessoires du phénomène, la présence des blocs seulement dans les vallées principales, la grande largeur des

vallées dans les terrains mous, la forme des coteaux abrupts sur les points exposés à la violence du courant, doucement inclinés et couverts de débris rocheux dans les parties abritées. En diminuant de puissance et de vitesse, le flot diluvien a d'abord abandonné les graviers des hautes terrasses; puis, sur les plateaux rasés, il a laissé un manteau de limon rouge, que sa précipitation même a séparé en deux couches, l'inférieure plus sableuse, la supérieure plus argileuse. Quand le limon a recouvert les graviers des hautes terrasses, il a donné naissance à ce mélange singulier de cailloux et de boue ocreuse que l'on suit non-seulement le long des vallées de la Seine, de la Marne et de l'Oise, mais sur les plateaux du Vexin et du pays de Caux. M. Belgrand propose de donner à ces dépôts diluviens le nom d'*alluvion ancienne* pour les rattacher aux formations que la même cause produisait dans les hautes vallées des Alpes, à l'origine du phénomène. Les grands fleuves permanents succédèrent à cet immense torrent. L'étude des cours d'eau modernes nous a enseigné les lois simples et précises auxquels sont soumis et le dépôt des alluvions dans les tournants et les anses, et le creusement des lits avec le remplissage latéral qui en est la conséquence. Nous avons constaté par l'examen minutieux des faits que les terrains de transport, gratifiés des noms de *diluvium gris*, *diluvium rouge*, *lœss*, se conformaient trop exactement, jusque dans les détails de leur disposition, aux lois établies et reconnues dans les formations fluviatiles, pour qu'il fût possible de leur dénier une origine semblable, et de les considérer encore comme produits directement par le phénomène diluvien. Nous avons distingué avec M. Belgrand, dans les sablières, le gravier de fond, riche en ossements et en silex taillés, l'alluvion, et, enfin, les limons de débordements. Cette succession se retrouve identique aussi bien dans les hauts niveaux qui nous ont permis de retracer le cours de la Seine à l'âge de pierre, que dans les sablières de Grenelle ou de Levallois, qui représentent une phase postérieure de la même époque. L'abaissement des lits dans la traversée des terrains mous de la craie et des formations tertiaires ne saurait s'expliquer, comme en amont, par la pente roide des vallées; il est dû à un relèvement du continent et nous avons constaté par la séparation nette des hauts et des bas niveaux que le sol a subi un exhaussement brusque et

rapide d'environ 50 mètres qui a scindé en deux périodes l'âge des grands cours d'eau. Après comme avant, l'abaissement des lits s'est effectué lentement par des rapides et des cascades qui ont donné naissance aux nombreux caps que contourne la Seine entre Paris et Rouen. Enfin le dernier des grands lits s'est remblayé par des graviers ou des limons ou par de la tourbe, suivant le régime violent ou tranquille de la rivière, lorsque s'est effectué ce changement climatologique, qui correspond au début de l'état actuel des choses dans nos contrées.

Dans les dépôts des hautes terrasses comme dans le limon des plateaux, la paléontologie n'a trouvé ni ossements ni coquilles : ce sont, en effet, des formations diluviennes qui correspondent nécessairement à la phase décroissante du phénomène, alors que tous les cadavres des animaux, tous les débris des végétaux étaient entraînés déjà vers la mer. Quoique l'homme et les animaux quaternaires aient habité le revers de la Côte-d'Or, dès le début de l'âge de pierre, comme le prouvent les riches ossuaires des cavernes, néanmoins les graviers fluviatiles y sont très-pauvres, ce qui tient au rapide abaissement des lits sur les terrains à fortes pentes.

Dans les vallées crétacées ou tertiaires, au contraire, les graviers ont partout enfoui de nombreux ossements d'animaux accidentellement noyés et d'abondantes pierres taillées, abandonnées sur les rives par les populations qui venaient chercher dans le lit du fleuve les énormes silex dont leur industrie primitive savait utiliser les éclats. La faune, sauf une ou deux espèces, semble être la même pendant toute la durée de l'âge de pierre, aussi bien aux bas niveaux que dans les sablières élevées. On y rencontre des espèces longtemps considérées comme pliocènes, *Rhinoceros etruscus*, *R. Merckii*, *Trogontherium*, etc. Enfin, l'étude des diverses localités permet de reconnaître que les animaux se cantonnaient alors comme aujourd'hui encore dans les contrées sauvages, sans doute d'après la nature du sol et de la végétation qui le couvrait. Par là peut s'expliquer le *facies* spécial de certaines faunes locales, comme celle de Saint-Prest, par exemple. La présence du renne nous a porté à penser qu'alors nos étés étaient beaucoup moins chauds, et que la moyenne de la température ne devait pas dépasser 8 degrés; les neiges perpétuelles descendaient à 1400 mètres, et les

grands glaciers s'étendaient au loin dans les Alpes et dans les Vosges [1].

Quant à l'histoire de la période glaciaire elle-même, dans sa généralité, nous en avons esquissé un chapitre, celui qui, après les beaux travaux de M. Belgrand, peut être considéré comme le mieux connu, le plus systématiquement étudié. Il resterait assurément à coordonner dans un récit complet tous les divers actes de ce grand drame qui se déroule pendant les temps quaternaires; il faudrait établir le synchronisme exact des manifestations diverses des forces géologiques pendant cette phase intéressante de l'histoire du globe. Peut-être le régime des grands cours d'eau du bassin de la Seine correspond-il à l'époque où l'Angleterre et le nord de l'Europe centrale s'enfonçaient sous les eaux d'une mer glaciale, tandis que les *iceberg* transportaient au loin les blocs erratiques enlevés aux roches de la Scandinavie; le relèvement brusque qui sépare les hauts et les bas niveaux n'est peut-être que la conséquence de l'émersion nouvelle du nord de l'Europe. On pourrait multiplier les suppositions de ce genre, mais appuyées sur un trop petit nombre de faits corrélatifs, elles ne peuvent, quant à présent, conduire à un résultat net et positif. C'est ce que M. Belgrand a parfaitement saisi; aussi évite-t-il toute affirmation et nous ne saurions mieux faire que d'imiter sa prudente réserve. C'est, croyons-nous, par

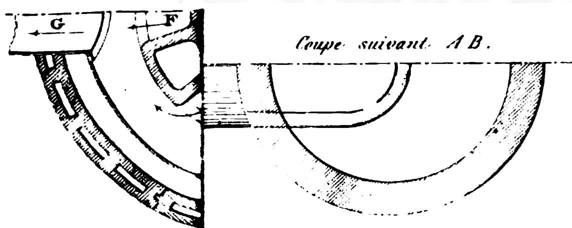
1. Il ne semble pas que l'action glaciaire ait joué directement un rôle important dans la formation des vallées du bassin de la Seine. Le Morvan a peut-être été couvert d'une calotte de glace, comme semblent l'indiquer les blocs épars à sa surface et certains dépôts détritiques que divers géologues considèrent comme appartenant à d'anciennes moraines. (*Les Glaciers du Morvan*, par M. J. Martin, *Bulletin de la Société géologique de France*, 2e série, t. XXVII, p. 225.) MM. Roujou et Julien ont signalé aussi des blocs striés et des galets rayés dans les sablières des environs de Paris; mais, sans parler du peu de dureté des roches, leur poli imparfait et l'allure même des râclures qui les couvrent sont loin d'offrir un *facies* glaciaire incontestable. Il en est de même des belles tables de grès de Fontainebleau, si largement striées, découvertes tout dernièrement par MM. Belgrand et Jacquot sur le plateau de la Padole, entre Mennecy et Ballancourt. Celles-ci seraient un nouvel indice d'actions glaciaires antérieures au phénomène diluvien, et synchroniques peut-être de la première extension des glaciers, reconnue dans les Alpes par divers observateurs et constatée récemment en Auvergne, par M. Julien.

de savantes monographies, comme l'*Histoire du bassin parisien aux âges antéhistoriques*, que la science peut espérer de s'enrichir peu à peu et d'obtenir enfin, sur l'ensemble de la période quaternaire, les documents détaillés et certains qui permettront d'en écrire l'histoire complète, sans recourir aux hypothèses pour suppléer à l'insuffisance des monuments originaux.

Paris. — Imprimerie Viéville et Capiomont, rue des Poitevins, 6.

K
D
K
A
B
M
C'
H'
H'
C
D
A
h h

Coupe suivant A B.





MÉMOIRE

SUR

LE CHAUFFAGE ET LA VENTILATION

DU PALAIS DU CORPS LÉGISLATIF

pendant la session de 1869-1870

PAR M. LE GÉNÉRAL MORIN.

---

1) Dans le courant de l'année 1868, après une session où les membres du Corps législatif avaient fréquemment souffert du défaut de renouvellement de l'air et de l'élévation de la température dans la salle des séances, M. Schneider, président de l'Assemblée, m'avait consulté sur les dispositions à prendre pour atténuer ces inconvénients communs à la plupart des lieux de grandes réunions.

Après un premier et attentif examen, il me parut possible d'atteindre le but, sans introduire dans la salle et dans ses dépendances de modifications apparentes et considérables. Un avant-projet, relatif à la salle seule, fut rédigé en conséquence par M. de Joly, architecte du Corps législatif. Il se composait principalement, comme les dispositions actuelles, d'une cheminée d'appel pour l'évacuation de l'air vicié extrait sous les gradins, et d'une cheminée d'introduction amenant l'air nouveau au plafond et au pourtour de la corniche. Cet air devait être fourni par des calorifères établis dans le sous-sol et pourvus de chambres de mélange d'air frais.

L'exécution de ce projet fut arrêtée en principe, mais certaines

difficultés administratives, et surtout la convocation prématurée de l'Assemblée, en novembre 1868, obligèrent à la retarder.

Ce délai permettant un examen plus complet de toutes les conditions du problème à résoudre, M. le Président du Corps législatif forma une Commission composée d'un certain nombre de ses collègues, et de MM. Morin et Combes, membres de l'Institut, Callon, ingénieur en chef des mines, Tresca, sous-directeur du Conservatoire des Arts et Métiers.

Après plusieurs séances de discussions d'ensemble et de détails, un projet fut rédigé et adopté. L'exécution en fut confiée à M. de Joly, sous la direction de la Commission; les travaux, conduits avec rapidité, furent terminés dès le mois de septembre 1869, et des observations préparatoires purent être entreprises en octobre et en novembre, avant l'ouverture de la session, pour s'assurer si les résultats obtenus satisfaisaient à l'ensemble des conditions imposées et régler la marche du service.

Les expériences ont été continuées pendant toute la durée de la session, les résultats obtenus ont été consignés, jour par jour, dans des rapports réguliers; les observations, les critiques de MM. les députés ont été recueillies avec soin, et c'est l'ensemble de tous ces éléments, ainsi que les conséquences qui en découlent, que je me propose de faire connaître dans ce Mémoire.

Persuadé que la solution obtenue du problème, qui nous avait été proposé, peut jeter du jour sur la marche à suivre dans des cas analogues, pour les salles d'assemblée, ainsi que pour les théâtres, je ne passerai sous silence aucun des inconvénients qui nous ont été signalés, ni aucun des moyens auxquels nous avons eu recours pour les éviter.

Pour permettre d'apprécier les difficultés de la question qu'il s'agissait de résoudre, il est nécessaire de rappeler d'abord succinctement les défauts que l'on reprochait aux anciennes dispositions, leurs vices généraux et les conditions nouvelles auxquelles on devait satisfaire.

2) *Inconvénients reprochés aux dispositions antérieures.* — Dans l'état précédent du service du chauffage et de la ventilation, la complication des dispositions, l'exiguïté des sections données aux passages de l'air nouveau à introduire et de l'air vicié à

extraire, ne permettaient ni de connaître les volumes d'air réellement admis et extraits, ni d'en régler les températures et la répartition.

Une partie des orifices d'introduction était trop rapprochée des bancs supérieurs de la salle, et l'exiguïté de leurs dimensions déterminait des vitesses d'arrivée trop considérables et gênantes.

L'insuffisance des conduits d'évacuation n'assurant pas un renouvellement général et régulier de l'air, les températures étaient fort inégales dans les diverses parties de la salle, de sorte que MM. les députés pouvaient également, avec raison, se plaindre de souffrir, les uns du froid, les autres d'une trop grande chaleur.

Des orifices d'appel ouverts sous les bancs et à proximité des pieds, déterminaient de légers courants d'air, qui, bien qu'à la température de la salle même, causaient, par leur vitesse, un refroidissement désagréable.

Tout le monde réclamait un renouvellement beaucoup plus énergique de l'air, qui, après de longues séances, devenait souvent tout à fait insalubre et dont la température atteignait l'été un degré beaucoup trop élevé.

Quant aux tribunes réservées aux fonctionnaires et au public, l'absence complète de ventilation en rendait souvent le séjour extrêmement pénible, et la température s'y élevait parfois à plus de 30 ou 35°.

L'air vicié des tribunes n'avait d'ailleurs de débouché qu'après s'être rendu dans la salle, ce qui ajoutait encore à l'insalubrité du lieu des séances.

L'insuffisance des moyens d'alimentation d'air nouveau étant encore beaucoup plus grande, à proportion, que celle des orifices d'évacuation d'air vicié, il en résultait à toutes les ouvertures de la salle des rentrées d'air donnant lieu à des courants aussi désagréables que dangereux.

La circulation continuelle des membres de l'Assemblée pa les portes inférieures, établissant la communication de la salle avec les couloirs, les salons, la bibliothèque et la salle des conférences, avait pour conséquence l'ouverture à peu près permanente de ces immenses baies, et l'on avait cherché, mais sans succès, à atténuer les courants d'air intolérables qui s'y pro-

duisaient par l'établissement de tambours, de doubles portes et de draperies.

L'excessive complication des dispositions adoptées, la multiplicité des conduits, des registres à manœuvrer, celle des calorifères, jointes à des défauts de proportion, ne permettant pas de remédier à tous les inconvénients dont on vient de signaler les principaux, des changements radicaux étaient devenus indispensables.

3) *Conditions générales de la question.* — En abordant l'étude de cette question, la Commission ne pouvait se dissimuler les difficultés spéciales qu'elle présentait.

Outre la nécessité d'assurer dans la salle un renouvellement de l'air suffisant pour un nombre total de personnes, estimé à mille au maximum, tant pour la salle que pour les tribunes, les habitudes et les nécessités d'une circulation continuelle, celle d'une ouverture presque permanente des portes principales du rez-de-chaussée, et même de celles des tribunes établissant des communications incessantes entre cette salle et tous les locaux qui l'entourent, il n'était pas possible de se borner à ne s'occuper que de cette enceinte.

De là résultait la nécessité d'adopter un système général de chauffage et de ventilation qui assurât partout dans l'ensemble des salles, des salons, des corridors, et même des escaliers en communication, l'uniformité de la température et du renouvellement de l'air, de telle façon que l'ouverture des portes principales ne présentât plus d'inconvénients sérieux, tout en admettant certaines différences tolérables ou même désirables.

Cette nécessité, fortement mise en évidence par M. Combes, qui, en ingénieur des mines expérimenté, connaît tout le parti que l'on peut tirer de l'énergie des appels pour faire circuler l'air dans les travaux les plus étendus, a été en principe admise par la Commission.

Il était cependant indispensable que des limites fussent posées à ce problème difficile, et qu'en des points bien déterminés, la clôture de certaines portes fût considérée comme assurée.

La solution de cette question préalable fut l'objet de discussions sérieuses dans le sein de la Commission, et il fut définitivement arrêté que l'on fixerait pour limites des locaux à

chauffer et à ventiler, d'une part l'entrée du vestibule par lequel le public est admis, du côté du pont de la Concorde, et de l'autre, les portes qui donnent accès du salon de la Paix dans la salle des séances.

4) *Étendue des locaux.* — L'ensemble de ces locaux ainsi que les conditions du renouvellement de l'air furent ensuite déterminés, ainsi qu'il suit, par la Commission.

	DÉSIGNATION DES LOCAUX A CHAUFFER ET A VENTILER.		CAPACITÉS.		Volume d'air à introduire et à extraire.	Renouvellement par heure. — Nombre de fois.
Groupe A. Dépendances.	Salle des séances		7930mc			
	Deux escaliers	1350mc				
	Couloirs	319	3424	11354mc	30000mc	2,54
	Rez-de-chaussée	512				
	Entrée du public, 1er étage	1233				
Groupe B.	Salons					
	Salle Casimir Périer	2233				
	Salle des distributions	968	5329			
	Salle du trône	968				
	Galeries	1160			maximum	1,67
	Salle des conférences	1995		8988	15000	
	Vestibule de la bibliothèque	850	3659		minimum	
	Dégagements	269			10000	1,11
	Buvette[1]	545				
				20342		

1. Ajoutée plus tard.

Ces données générales étant admises, M. le Président chargea de la préparation d'un projet, une sous-commission composée de MM. le général Morin, Combes, Callon et Tresca, qui dut se concerter avec M. de Joly, architecte du Corps législatif, pour les moyens d'exécution.

Un rapport sur ces études préliminaires, rédigé par M. Tresca, fut présenté par la Commission le 15 avril 1869, et les propositions qui y étaient formulées ayant été approuvées par cette Commission, après plusieurs séances de discussion, dans celle du 28 juillet dernier, l'on procéda immédiatement à l'exécution.

Avant de faire connaître les bases et les détails de ces projets, dont la réalisation dans un édifice existant présentait de sé-

rieuses difficultés, ceux des membres de la Commission, qui s'en sont plus spécialement occupés, se font un devoir de rendre hommage au dévouement, à l'esprit éclairé de conciliation, à l'habileté et à la rapidité dans l'exécution, dont M. de Joly a fait preuve. Grâce à son activité et à son zèle incessant, tous les travaux ont été terminés en temps utile, et toutes les dispositions et les dimensions indiquées dans le travail de la Commission ont été largement réalisées.

5) *Température normale à maintenir dans le palais.*—L'observation des édifices où des ventilations régulières ont été établies, montrant que dans les locaux, où l'on séjourne longtemps, on trouve généralement très-convenable une température comprise entre 19° et 21° centigrades, la Commission avait admis en principe ces limites comme celles que l'on devait adopter pour l'état normal dans la saison du chauffage.

Mais des préoccupations, qui prenaient leur origine dans les effets observés l'été précédent, où l'on avait été si incommodé par la chaleur, engagèrent plus tard MM. les questeurs à insister pour que l'on se bornât d'abord à assurer la température de 17° à 18°. L'expérience a montré, dès la première séance, comme on le verra plus loin, que cette limite était trop basse. Il a été facile de l'élever au degré convenable.

6) *Passages d'introduction, vitesse et température de l'air nouveau.* — Conformément à des règles déduites de l'observation, la Commission admit ensuite :

1° Que l'air nouveau serait introduit partout à une vitesse qui ne devrait pas excéder notablement $0^m,50$ en 1″, et à une température très-peu supérieure à celle des locaux à chauffer, soit environ 20° à 22°;

2° Que les points d'introduction dans la salle et dans les salons le plus habituellement occupés, tels que celui des conférences et la salle du trône, seraient disposés dans les parties supérieures ou par les plafonds;

3° Que pour les couloirs, la salle Casimir Périer, la buvette, où l'on ne séjourne pas, on pourrait, eu égard à certaines difficultés locales, admettre exceptionnellement l'air chaud par des

orifices ouverts dans le sol, avec une vitesse de $0^m,70$ au maximum.

7) *Proportions et dispositions générales adoptées, volumes d'air à extraire et à admettre.* — La salle étant, de tous ces locaux, celui qui reçoit et contient pendant plusieurs heures le plus grand nombre de personnes, estimé à mille au maximum, tandis que tous les autres ne sont, pour ainsi dire, que des lieux de passage, à l'exception de la salle des conférences où MM. les députés sont rarement très-nombreux, la Commission admit, comme point de départ des études, que le volume d'air à introduire et à extraire serait calculé, pour la salle et ses dépendances directes, à raison de 30 000^{mc} par heure, assurant un renouvellement entier de l'air de deux fois et demie par heure.

2° Que, pour tous les autres locaux, il suffisait d'y faire circuler 10 000^{mc} par heure et au maximum 15 000^{mc}, correspondant à un renouvellement complet effectué 1,11 à 1,67 fois par heure.

En conséquence des bases précédentes, les orifices d'introduction de l'air dans la salle ont été disposés :

Au dessus de la corniche circulaire et du proscénium rectiligne qui domine le bureau, et dans les angles de dix-neuf des caissons du plafond. La surface totale de ces orifices qui, pour une admission de 30 000^{mc} par heure ou de $8^{mc},333$ en 1″, devait être de $16^{mq},69$, a été, en réalité, de $17^{mq},91$, répartis ainsi qu'il suit :

Arc de proscénium.	$5^{mq},84$.
Caissons du 1er rang.	1 ,32.
Caissons du 3e rang.	0 ,68.
Corniche au pourtour supérieur.	10 ,07.
	$17^{mq},91$.

Dans les salons et couloirs des groupes A et B, où le volume maximum à admettre était évalué à 15 000^{mc} par heure, ou de $4^{mc},167$ en 1″, à la vitesse de $0^m,70$ en 1″, la section demandée a été de $6^{mq},00$ environ; elle est en réalité de $8^{mq},33$, répartis ainsi qu'il suit :

Groupe A.	5^{mq},83.
Groupe B, salle des conférences.	2 ,50.
	8^{mq},33.

Déduction faite des pleins des grilles.

8) *Chauffage et arrivée de l'air nouveau aux orifices d'introduc-duction.* — Nous ferons connaître, dans un appendice à ce mémoire, la description des dispositions et des proportions adoptées pour cette partie du problème à résoudre; nous nous contenterons d'en donner ici une idée générale.

Après d'assez longues discussions et l'examen des projets d'appareils de chauffage présentés par plusieurs constructeurs appelés à concourir, la Commission se décida à adopter l'emploi des calorifères en briques creuses. En conséquence, pour la salle, quatre calorifères de ce genre, dans la construction intérieure desquels il n'entre point de métal, ont été établis sous l'ancienne salle des gardes et près de la base de la cheminée d'appel, dont il sera parlé plus loin, laquelle reçoit leurs tuyaux de fumée. Ils remplacent sept calorifères en fonte primitivement employés pour cet objet, et présentent ensemble des surfaces de 154^{mq},44 pour absorber toute la chaleur de la fumée, et de 541^{mq},70 pour l'échauffement de l'air extérieur à introduire. Ces dimensions, très-larges, permettent d'obtenir à une température modérée de 40° environ un volume considérable d'air chaud, non altéré, et ont suffi pour atteindre en toute saison très-facilement le degré de chaleur convenable pour la salle. Les résultats que l'on fera connaître plus loin montrent qu'avec deux de ces calorifères seulement on y est parvenu, alors que la température extérieure, à midi, était de + 5°, ce qui est, comme on le sait, la température moyenne de l'hiver.

L'air chaud fourni par ces calorifères débouche au bas d'une chambre de mélange de plus de 60^{mc} de capacité, dans laquelle un large orifice de 10^{mq},50, muni d'un registre mobile, permet d'introduire de l'air extérieur froid, venant du côté du jardin par une grille offrant une section libre de passage de 13^{mq},65.

A l'aide de ce registre et de celui qui est placé près du débouché de l'air chaud, on peut modérer la température de

l'air mélangé, qui pénètre dans la salle et la régler, pour ainsi dire, à volonté.

Les orifices d'entrée de l'air froid aux calorifères ont $5^{mq},72$, et la somme des sections des passages à travers les briques creuses est de $6^{mq},175$. Ces proportions montrent toute la latitude qu'offrent les dispositions adoptées, puisqu'en supposant que l'air traverse ces passages des calorifères avec une vitesse d'un mètre seulement en 1″, il y circulerait

$$6^{mq},175 \times 1^{mq},00 \times 3\,600 = 22\,230^{mc}$$

d'air chaud par heure, ce qui suffirait pour la ventilation ordinaire d'hiver, même quand le registre d'air froid serait fermé.

Des calorifères semblables sont établis, deux pour le service spécial des salles du trône et de Casimir Périer du groupe A, un troisième pour celui de la salle des conférences et de la buvette, groupe B. Tous ont aussi leur chambre de mélange d'air froid, et leur registre régulateur.

Les calorifères du groupe A présentent $1^{mq},884$, et ceux du groupe B, $0^{mq},785$ de section de passage à l'air chaud.

L'air fourni à la salle des conférences y arrive par un conduit vertical ayant $1^{mq},982$ de section, et débouche au-dessus du plafond vitré qui l'éclaire, par vingt orifices présentant ensemble une section de $2^{mq},50$, ce qui, avec une vitesse d'introduction de $0^{m},50$ en 1″, y assure un renouvellement d'air de $4\,500^{mc}$ par heure, ou de $\frac{4\,500^{mc}}{1\,995^{mc}} = 2,25$ fois, ce qui est bien plus que suffisant avec l'action de la cheminée.

Cette salle était, en outre, chauffée par une ancienne cheminée à feu ouvert, qui a été conservée pour l'agrément.

Dans la salle du trône, où des rédacteurs sont régulièrement réunis en grand nombre, l'air afflue près du plafond; il en est de même dans la salle des distributions et dans le vestibule de la bibliothèque.

Il n'y a que dans le couloir, du côté de la cour, et dans la salle Casimir Périer, que l'air arrive par des grilles disposées à fleur du sol; ce qui n'a pas d'inconvénient, quant à l'entrée de l'air chaud, pour les locaux où l'on ne séjourne pas. Il en est de même pour la buvette, dont le chauffage et la ventilation

n'avaient pas été compris dans les demandes primitives, mais que l'on a pu facilement rattacher aux dispositions prises pour les autres locaux.

9) *Observation sur la ventilation d'été dans la salle Casimir Périer.* — Pour la saison d'été, il sera toujours facile d'assurer l'introduction de l'air extérieur dans les salons Casimir Périer, du trône, et du vestibule de la bibliothèque.

10) *Évacuation de l'air vicié.* — Afin d'assurer aux mouvements de l'air la régularité compatible avec les difficultés inhérentes à la question, il avait été résolu que l'appel général d'air vicié serait déterminé par une seule cheminée, traversant la salle des gardes. Pour maintenir dans le mouvement de cet air une stabilité susceptible de le mettre à l'abri de l'action des vents, la vitesse au débouché supérieur devait être d'environ $1^{m},80$ en $1''$. Sa section a été fixée d'après cette donnée à 7^{mq}, et le volume d'air maximum à évacuer à 45 000^{mc}. Cette section est en réalité de $7^{m},80$ à la base, et de $7^{mq},00$ à la partie supérieure.

Cette cheminée reçoit, par trois conduits généraux, l'air vicié de l'ensemble de tous les locaux. Deux sont destinés au service de la salle et de ses dépendances, le troisième à ceux des salons désignés sous les titres des groupes A et B.

11) *Évacuation de l'air de la salle.* — Pour obtenir un renouvellement aussi uniforme que possible de l'air dans la salle, on y a pratiqué de nouveaux orifices d'appel, en grand nombre, tout en conservant la plupart de ceux qui y existaient déjà. Les superficies de ces orifices sont indiquées dans l'état suivant :

	Superficie de passage libre.
Planum	$2^{mq},03$.
Gradins et marches	6 ,14.
	$8^{mq},17$.
Tribunes	1 ,92.
Total :	$10^{mq},09$.

Il n'avait été demandé qu'une section de $8^{mq},76$ pour la salle dans l'hypothèse d'une vitesse de passage de $0^{m},70$ en $1''$. La

section de $10^{mq},09$ suffit, avec une vitesse de passage de $0^{m},50$ en moyenne, pour assurer une évacuation de

$$10^{mq},05 \times 0,50 \times 3\,600 = 18\,158^{mc} \text{ par heure,}$$

que l'expérience a montré être plus que suffisante pour la saison d'hiver.

Les orifices du planum communiquent avec un collecteur inférieur, qui suit le contour limite des gradins. Ceux des siéges de MM. les députés, ceux des escaliers rayonnants intérieurs, et ceux du couloir supérieur entre les tribunes et la salle, débouchent dans trois collecteurs concentriques. Tous ces premiers collecteurs sont mis, par des puits verticaux, en communication avec deux conduits de plus grandes sections, qui aboutissent au bas de la cheminée d'appel général, et qui sont munis de registres mobiles autour d'un axe vertical, que l'on peut, selon les besoins, ouvrir plus ou moins, ou fermer complétement pour activer ou modérer la ventilation, suivant les saisons. Pour celle d'hiver, l'ouverture démasquée par ces registres est réduite au quart du passage total.

12) *Évacuation de l'air des tribunes.* — Les panneaux inférieurs des portes des deux étages de tribunes ont été ouverts et garnis de grilles, qui permettent l'évacuation de l'air vicié de ces locaux. Cette évacuation est déterminée par l'appel exercé dans les deux cages d'escaliers demi-circulaires, et dans le corridor du rez-de-chaussée, par lequel le public arrive au 1er étage de tribunes, au moyen de grilles qui communiquent avec une galerie souterraine, existant sous ce corridor, laquelle conduit l'air extrait au bas de la cheminée d'appel.

Enfin les vestibules d'entrée du public, pour les tribunes des deux étages, sont aussi en communication avec la même cheminée par des orifices spéciaux et par une petite galerie inférieure, qui débouche dans les derniers collecteurs principaux.

13) *Conséquences des dispositions adoptées.* — Il résulte de ces dispositions que, de toutes les parties de la salle et de ses dépendances immédiates, planum, bureau, gradins, couloirs supérieurs, tambour à l'entrée, tribunes des deux étages, escaliers, corridor du rez-de-chaussée, vestibule d'entrée du public, l'air,

plus ou moins vicié, sort avec des vitesses modérées, insensibles pour les personnes voisines des orifices d'appel, mais assez énergiques pour s'opposer à toute rentrée d'air d'une partie à l'autre.

L'ouverture des portes de communication de ces locaux, loin de déterminer, comme par le passé, des rentrées d'air gênantes, accroît, au contraire, l'évacuation, ce qui n'a pas d'inconvénient local, mais ne dispense cependant pas de la fermeture de ces portes, dont l'action pourrait donner à l'évacuation une activité trop grande qui contrarierait l'ensemble de la ventilation.

Il convient de rappeler ici que le vestibule d'accès du public, débouchant sur la petite cour du côté du pont, était une des limites de clôture des locaux à ventiler, et que, pour éviter l'effet de l'introduction d'air froid par l'ouverture fréquente de la porte d'entrée, on a disposé en dedans de cette porte un tambour, dans lequel une large bouche de chaleur amène un abondant courant d'air chaud.

Les sections données à tous les passages de l'air ont été déterminées, comme on l'a dit, de manière que la vitesse d'aspiration aux premiers orifices d'appel, étant supposée de $0^{m},70$ en 1″, ce qui, pour une évacuation de 30 000^{mc}, par heure, correspondrait à $13^{mq},88$, la somme des passages allât en diminuant graduellement, jusqu'à $4^{mq},63$, pour la salle et ses dépendances, et à $2^{mq},32$ pour les groupes A et B, ou en totalité, environ $7^{mq},00$, proportion qui suppose une vitesse de $1^{m},80$ en 1″ à l'arrivée à la base de la cheminée.

Il résulte de cette disposition que le mouvement de l'air évacué s'accélère de plus en plus, à mesure qu'il se rapproche de la cheminée, ce qui contribue à en assurer la stabilité.

14) *Simplicité du système général adopté.* — Tel est l'ensemble des dispositions prises pour assurer l'introduction de l'air nouveau et l'évacuation simultanée de l'air vicié dans toutes les partie d'un édifice, dont la capacité totale excède 20 000 mètres cubes, et se compose d'un grand nombre de salles ou de locaux en communication à peu près permanente les uns avec les autres.

On remarquera que, pour le chauffage de la salle, quatre calo-

rifères, une seule chambre de mélange, et deux registres régulateurs, l'un d'air chaud fourni par les calorifères, et l'autre, d'entrée de l'air froid dans cette chambre, suffisent pour assurer le service, et que pour l'ensemble des groupes A et B il n'y a que trois calorifères, deux chambres de mélange et deux registres régulateurs, tandis que dans le système précédent, il existait onze calorifères et un nombre considérable de registres ou de vannages régulateurs, dont la complication n'assurait nullement la marche régulière d'une ventilation suffisante.

15) *Résultats obtenus.* — Il convient maintenant de faire connaître succinctement les résultats que l'on a constatés dans les expériences, qui ont été poursuivies sans interruption, depuis les premiers jours de novembre 1869, continuées jusqu'à la fin de la session 1870, et qui ont eu pour objet l'étude des moyens à employer pour éviter le retour des inconvénients reprochés aux anciennes dispositions et de régler convenablement les températures et le renouvellement de l'air.

On se rappellera d'abord que l'ampleur donnée, à dessein, à toutes les proportions des orifices et des canaux de circulation de l'air, ainsi qu'aux appareils de chauffage, laissait une assez grande latitude, dont on a profité pour régulariser l'ensemble du service.

16) *Marche générale des mouvements et des températures de l'air.* — Dès les premiers jours de la mise en chauffage des calorifères et de la cheminée d'appel, l'on a pu constater, d'une part, que l'arrivée de l'air nouveau se faisait dans toutes les parties de la salle comme on l'avait espéré et à une température très-modérée, qu'il était facile de régler par le nombre des calorifères allumés, par l'activité donnée aux feux et par l'ouverture convenable des registres d'air chaud et d'air froid, de leur chambre de mélange.

Cette température d'arrivée de l'air a été fixée à 18° ou 20° pour le cas normal, où celle de l'air extérieur se maintient l'hiver à + 5°. Elle peut être diminuée et ramenée à peu près à celle de l'air extérieur quand celui-ci est plus chaud, ou élevée un peu quand il sera plus froid ; mais, dans ce dernier cas, l'on ne pense pas qu'elle doive excéder notablement 20°, et l'on pré-

férera prolonger l'activité des feux pour maintenir dans la salle la température normale de 17° à 18° dans l'intervalle des séances.

Dans les salles qui forment les groupes A et B il a été facile, par quelques réglementations de détail, d'obtenir aussi régulièrement, pour l'air affluent, une température renfermée dans les mêmes limites.

Quant à l'évacuation de l'air, des résultats aussi satisfaisants ont été de suite observés. Avant qu'aucune réglementation des registres et des conduits ait été essayée, et alors que tous étaient ouverts en plein, l'on a pu constater que partout l'action de la cheminée d'appel se faisait sentir d'une manière suffisamment énergique; aussi bien dans la salle des séances, dans les tribunes, dans les escaliers, dans les couloirs et vestibules qui en dépendent, que dans la salle des conférences et dans les autres salons des groupes A et B.

Il était dès lors évident qu'il serait facile de coordonner et de régulariser les entrées et les sorties d'air, de manière à éviter aux portes de communications, accidentellement ou fréquemment ouvertes, les courants d'air ou au moins à les restreindre, de manière qu'ils ne fussent gênants nulle part. C'est vers cette régularisation qu'ont été dirigés les essais poursuivis d'abord avec continuité pendant tout le mois de novembre, et dont on va faire connaître sommairement les résultats.

17). *Observation des températures.* — Des thermomètres comparés entre eux et en grand nombre ont été répartis dans toutes les salles.

Dans celle des séances on en a disposé :

3 auprès du bureau du Président,
12 dans la longueur de trois des escaliers des gradins,
4 dans le couloir circulaire qui entoure les gradins supérieurs,
4 dans les tribunes du premier et du deuxième étage,
2 dans les escaliers des tribunes du premier étage,
3 dans la salle des conférences,
7 dans les autres salons,
1 à l'extérieur,

1 à l'entrée de l'air extérieur dans la chambre de mélange des calorifères de la salle,
1 au débouché de l'air mélangé au sommet de la cheminée d'arrivée de l'air dans la salle des séances,
2 dans la chambre vitrée d'accès d'air à la salle des conférences,
1 au milieu de la hauteur de la cheminée d'évacuation,

11 thermomètres.

Tous les jours, à 9 heures du matin, à midi, à 3 heures et à 6 heures du soir, on a relevé les températures, en même temps que les consommations de combustible, et des rapports réguliers, dont on a mis les originaux sous les yeux de l'Académie, ont fait connaître les résultats de ces observations, dont la régularité est vraiment remarquable.

Ne pouvant ici reproduire ces rapports, on donnera une idée de cette régularité en insérant :

1° L'un d'eux *in extenso;*

2° L'ensemble des résultats moyens observés dans la salle, du 6 au 27 novembre, par des températures extérieures variables de + 3°,8 jusqu'à 14° à midi;

3° L'ensemble des résultats moyens observés dans une série de jours où la température moyenne, à midi, a été de + 4°,9, ce qui est celle des hivers ordinaires à Paris.

I. — *Observations de températures faites le 21 novembre 1869 au Palais du Corps législatif avant l'ouverture de la session.*

EMPLACEMENTS.		HEURE DES OBSERVATIONS.			
		9h matin.	midi.	3h soir.	6h soir.
A l'extérieur		3°,5	5°,5	6°,1	5°,1
Salle des séances.	en haut	16 ,1	16 ,9	17 ,1	17 ,3
	en bas	16 ,8	17 ,3	17 ,5	17 ,3
	aux tribunes	17 ,1	17 ,5	17 ,6	17 ,6
Couloirs		17 ,0	17 ,1	17 ,2	17 ,5
Salons.	Casimir Périer	16 ,1	16 ,1	16 ,5	17 ,0
	du trône	16 ,7	17 ,3	17 ,4	18 ,0
	des distributions	15 ,9	16 ,6	16 ,5	17 ,0
	des conférences	17 ,0	17 ,3	17 ,5	18 ,1
A l'entrée de la chambre de mélange (air extérieur)		6 ,5	7 ,2	7 ,7	6 ,0
Au haut de la cheminée.	de l'air dans la salle des séances	21 ,5	22 ,1	22 ,1	22 ,0
	de l'air dans la salle des conférences	16 ,0	18 ,4	18 ,5	18 ,6
	de la cheminée d'évacuation	26 ,0	27 ,5	27 ,0	27 ,8

18). *Conséquences des résultats consignés dans le tableau précédent.* — Ce tableau met en évidence la régularité et l'uniformité des températures obtenues dans tous les locaux à partir de l'heure de midi, et maintenue pendant toute la journée.

La salle des séances et celle du trône n'étaient pas occupées, il est vrai, pendant le mois de novembre, et il y aura lieu de constater si la même régularité peut être obtenue pendant les séances.

II. — *Résultats moyens des observations des températures intérieures de la salle des séances, du 6 au 27 novembre, par des températures extérieures de + 3°,8 jusqu'à + 14° à midi, avant l'ouverture de la session.*

DATES. — Novembre.	TEMPÉRATURE Extérieure.	TEMPÉRATURE Salle des Séances.	OBSERVATIONS.
6	12°,5	17°,0	
7	10,0	17,0	
8	10,0	17,0	
9	13,0	17 à 18	
10	9,0	16 à 17	
11	6,2	16 à 17	
12	4,5	17,7	
13	5,3	17,0	
14	10,8	17,7	
15	14,0	18,5	
16	13,0	17,3	
17	12,5	17,0	
18	11,7	17,0	
19	10,4	16,7	
20	8,1	16,7	
21	5,25	17,2	
22	3,8	15,5 (*)	(*) Le registre d'introduction d'air froid était trop ouvert. En le fermant, la température est remontée à 16°,5 et 17°.
23	6,1	17,0	
24	6,0	17,0	
25	6,2	17,2	
26	6,5	17,2	
27	10,7	17,8	

Ce tableau montre quelle régularité l'on peut obtenir pour les températures de la salle, quand celle de l'air extérieur à midi varie de + 3°,8 à + 14°,

III. — *Résultats moyens des observations des températures intérieures de la salle des séances, à midi, pendant les jours de novembre où la température extérieure moyenne a été à 9 heures de + 4°,9, avant l'ouverture de la session.*

DATES. — Novembre.	TEMPÉRATURE Extérieure, à 9 heures.	TEMPÉRATURE Salle des Séances, à midi.	OBSERVATIONS.
6	2°,0	17°,0	
7	5,5	17,0	
8	8,0	17,0	
10	7,7	16 à 17	
11	3,0	16 à 17	
13	2,8	17,0	
14	7,5	17,7	
20	6,5	16,7	
21	3,5	17,25	
22	3,3	15,25 (*)	(*) Le registre d'introduction d'air froid était trop ouvert. En le fermant, la température est remontée à 16°,5 et 17°.
23	4,0	17,00	
24	5,2	17,0	
25	4,5	17,0	
26	6,0	17,1	

Ce tableau fait voir que, pendant la période des températures moyennes de l'hiver, l'on peut, avec une introduction d'air à 20° environ au-dessus de 0, obtenir dans la salle des séances, une température très-régulière.

19) *Uniformité des températures dans toutes les parties de la salle, des tribunes et des dépendances à un même moment et à différentes hauteurs.* — Outre les observations précédentes sur les températures moyennes de la salle, il en a été exécuté, à diverses reprises, d'autres, sur des points nombreux de la salle et de ses dépendances directes, afin de s'assurer que l'introduction et l'évacuation de l'air s'y produisaient avec assez d'uniformité pour y établir à toute hauteur et à toutes les places une même température. Cette vérification était indispensable, non-seulement pour constater cette uniformité de circulation, mais encore pour que la température normale de 18° à 20° pour la saison du chauffage étant admise, on fût en mesure de réfuter des appréciations personnelles, souvent contradictoires, déterminées par des différences de tempérament.

Les résultats de l'une de ces séries d'observations sont consignées dans le tableau suivant :

Observations de températures faites le 24 et 25 novembre 1869, dans les diverses parties de la salles des séances.

NUMÉROS.	EMPLACEMENTS DES THERMOMÈTRES.	TEMPÉRATURES OBSERVÉES. 24 NOVEMBRE à 12^h 30'.	25 NOVEMBRE à 2^h 30'.
		°	°
1	Derrière le Président	16,6	17,3
2	A gauche de la tribune	17,0	17,3
3	Premier escalier des gradins du côté gauche, en partant du bas	16,8	17,1
4		16,6	17,1
5		17,0	17,4
6		17,0	17,2
7	Couloir circulaire, à gauche	16,8	17,3
8		16,8	17,0
9	Escalier des gradins, du milieu, en partant du bas	16,8	17,2
10		16,8	17,2
11		16,8	17,2
12		16,8	17,1
13	Escalier des gradins, du côté droit, en partant du bas	16.8	17,1
14		17,0	17,3
15		16,8	17,3
16	Couloir circulaire, à droite	16,8	17,8
17	A droite de la tribune	17,0	17,3
18	Cinq thermomètres suspendus à différentes hauteurs, au-dessus du 5e gradin, extrême gauche, à partir du bas	17,0	17,5
19		17,0	17,5
20		17,0	18,2
21		17,1	18,1
22		16,7	18,2
23	Deux thermomètres suspendus au haut du centre gauche. Bas.	17,2	18,7
24	Haut.	17,2	18,5
25	Au haut de l'extrême droite	16.7	18,6
26	Tribunes. N° 3	17,0	17,6
27	N° 10	16,0	17,0
28	N° 13	16,8	17,4
29	N° 16	16,6	17,3
	Extérieur	6,5	6,5

Le tableau précédent met en évidence la régularité des températures qui peuvent être obtenues dans toutes les parties de la salle, quand elle n'est pas occupée pendant des jours où la température aux heures d'observation était voisine de la moyenne de celle de l'hiver.

Le nombre des calorifères allumés pour le chauffage de la salle n'ayant d'ailleurs été que de deux ou trois au plus, pendant toutes les observations précédentes, il était évident que

l'on pourrait, à volonté, atteindre des températures plus élevées que celles qui ont été obtenues.

20). *Températures dans les dépendances extérieures de la salle et dans les divers salons.* — Des observations analogues ont aussi été faites le 24 et le 25 novembre dans les locaux dépendants de la salle. Les résultats sont consignés dans le tableau suivant :

Observations de températures faites le 24 et le 25 novembre 1869, dans les dépendances extérieures de la salle, désignées sous les noms de groupes A et B et autres.

EMPLACEMENTS DES THERMOMÈTRES.			TEMPÉRATURES OBSERVÉES le 24 novembre à 1h 55'.	TEMPÉRATURES OBSERVÉES le 25 novembre à 2h 30'.
Groupe A.	Vestibule nord de la salle Casimir-Périer	gauche	17°,0	17°,5
		droite	16,8	17,0
	Id.		17,0	17,0
	Salle du trône		18,8	19,0
	Salle de distribution		17,9	18,2
	Vestibule sud de la salle Casimir Périer	gauche	»	»
		droite	»	»
Groupe B.	Vestibule de la bibliothèque		16,8	17,0
	Salle des conférences.	côté du lavabo	18,6	19,0
		côté de la buvette	18,2	18,5
		côté des distributions	17,8	18,0
	Buvette[1]		»	»
Escaliers des tribunes		B, bas	16,1	16,5
		C, bas	15,5	15,8
Vestibule d'entrée du public			15,0	»
Ancien salon de l'Empereur			17,9	»
Chambre supérieure d'arrivée d'air dans la salle des conférences		A l'entrée	19,6	»
		Sous le vitrage	19,6	»
Au haut du conduit d'arrivée d'air			19,6	»

1. Ce local n'avait pas été compris dans le projet.

Ce tableau fait voir que, par suite des proportions données d'une part aux appareils de chauffage, et de l'autre aux conduits de circulation de l'air, il s'établit dans les pièces dépendantes des groupes A et B des températures très-peu différentes de celles de la salle.

La salle des conférences, où MM. les députés se tiennent souvent pour travailler tranquillement, est, en général, maintenue

à une température comprise entre 18° et 19°, ce qui convient pour un lieu abondamment ventilé et pourvu d'une large cheminée.

La salle du trône, destinée aux rédacteurs et à MM. les députés, qui viennent revoir le soir les épreuves de leurs discours, est aussi maintenue à la même température.

La buvette n'avait pas été indiquée comme devant être comprise dans les locaux à chauffer et à ventiler. Son chauffage laissait d'abord à désirer, mais on y a remédié par quelques dispositions convenables, ainsi qu'on le verra plus loin.

21). *Influence de l'éclairage par le plafond vitré sur la température de la salle.* — Parmi les influences dont il convenait, avant l'ouverture de la session, d'étudier les effets pour les combattre, s'il y avait lieu, était celle de l'éclairage par le plafond vitré, qui est obtenu, dans les séances d'hiver et du soir, à l'aide de la combustion d'environ 100^{mc} de gaz par heure, développant ensemble 600000 unités de chaleur [1].

Dans cette intention, il a été recueilli, à diverses reprises, des observations de température dans toutes les parties de la salle, d'abord avant l'allumage du gaz, puis de 30 en 30′, à cinq reprises différentes.

L'éclairage ayant paru vers 4 heures produire une légère élévation de la température générale, on a ouvert, dans une proportion beaucoup plus grande, le registre (du système Maillard) qui sert à introduire l'air froid dans la chambre de mélange du calorifère de la salle.

Les notes correspondantes aux (*) et (**) placées au sommet de deux des colonnes du tableau suivant indiquent les ouvertures de ce registre. La première (*) fait aussi connaître l'heure de l'allumage du gaz.

Pendant ces observations, la température de l'air affluent dans la salle, qui était à l'origine, de 21°, ne s'est abaissée que de 0°,8 sous l'influence de l'accroissement d'ouverture du registre Maillard.

Les résultats de toutes les observations sont consignés dans le tableau suivant :

1. Si le tiers seulement de cette quantité de chaleur passait à travers le vitrage, elle serait susceptible d'élever de 5° environ, 202702^{mc} d'air en une heure.

Observations faites le 26 novembre 1869, pour reconnaître et modérer l'influence de l'éclairage par le plafond vitré sur la température de la salle, avant l'ouverture de la session.

NUMÉROS.	EMPLACEMENTS DES THERMOMÈTRES.	HEURES DES OBSERVATIONS. 2h 25′.	2h 55′ (*).	3h 25′.	3h 55′ (**).	4h 25′.	4h 55′.	ACCROISSEMENTS des TEMPÉRATURES.	
		°	°	°	°	°	°		
1	Derrière le Président	17,5	18,0	18,1	18,4	18,6	18,9	0,9	
2	A gauche de la tribune	17,2	17,6	17,6	17,6	17,7	17,9	0,3	
3		17,2	18,0	18,0	18,0	18,2	18,4	0,4	
4	Premier escalier des gradins du côté	17,4	18,0	18,3	18,5	18,5	18,8	0,8	
5	gauche, en partant du bas	17,8	18,0	18,0	18,0	18,7	18,8	0,8	0,6
6		17,2	17,5	17,8	17,8	17,8	17,8	0,3	
7	Couloir circulaire à gauche	17,6	18,0	17,8	18,0	18,1	18,1	0,1	
8		17,2	17,8	18,0	18,0	18,2	18,5	0,7	
9	Escalier des gradins du milieu, en	17,3	18,0	18,0	18,3	18,3	18,6	0,6	
10	partant du bas	17,3	18,0	18,0	18,3	18,2	18,4	0,4	0,5
11		17,3	17,8	17,9	17,9	18,0	18,0	0,2	
12		17,7	18,0	18,0	18,2	18,6	18,8	0,8	
13	Escalier des gradins du côté droit, en	17,6	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	0,0	
14	partant du bas	17,3	17,6	17,6	17,6	17,6	17,6	0,0	0,4
15		17,2	17,6	17,8	17,8	17,9	17,9	0,3	
16	Couloir circulaire, à droite	17,2	17,8	17,9	17,8	17,8	17,9	0,1	
17	A droite de la tribune	17,2	17,4	17,5	17,8	17,8	17,9	0,5	
18	Cinq thermomètres suspendus à diffé-	18,0	18,6	18,8	19,0	19,0	19,3	0,7	
19	rentes hauteurs au-dessus du cin-	18,0	18,9	19,1	19,0	19,0	19,3	0,4	
20	quième gradin, extrême gauche,	18,6	18,9	19,1	19,0	19,2	19,3	0,4	
21	à partir du bas	18,7	19,2	19,2	19,3	19,5	19,4	0,2	
22	Le plus élevé	18,2	19,0	19,1	19,0	19,0	19,3	0,3	
23	Deux thermomètres suspendus au haut	19,2	19,2	19,1	19,1	19,3	19,3	0,1	
24	du centre gauche	19,8	19,7	19,5	19,4	19,4	19,4	0,3	
25	Au haut de l'extrême droite	19,8	19,8	19,8	19,9	19,8	19,8	0,0	
26	Tribunes. N° 18	17,9	»	»	»	»	18,3	0,4	
27	Tribunes. N° 15	17,8	»	»	»	»	18,1	0,3	
28	Tribunes. N° 4	18,0	»	»	»	»	18,1	0,1	0,4
29	Tribunes. N° 9	17,4	»	»	»	»	17,2	0,5	
30	Au haut de la cheminée d'introduction.	21,0	20,8	20,8	20,8	20,2	20,2		

(*) A 2 heures 26 minutes, on a allumé le gaz de la coupole, le registre Maillard étant ouvert de 0m,80. (**) A 4 heures, le registre Maillard a été ouvert à 1m,00.

22). *Conséquences des observations précédentes* — Les résultats consignés dans ce tableau montrent qu'à l'aide de l'ouverture du registre régulateur de l'entrée de l'air froid dans la chambre de mélange du calorifère de la salle, on a pu renfermer dans des limites très-étroites les variations de température dans les diverses parties de la salle, quand elle n'est pas occupée.

Le point où l'augmentation a été la plus grande est à l'emplacement du thermomètre situé derrière le fauteuil du Président; elle y a été de. . . . . 0°,9
Dans le premier escalier de gradins du côté gauche, moy. 0, 6
Dans l'escalier des gradins du cintre. 0, 5
Dans l'escalier des gradins de la droite. 0, 4
Dans les tribunes n°s 18, 15, 4 et 9. . . . . 0, 4
L'accroissement général moyen a été, en deux heures d'allumage, de. 0°,375

L'on voit donc qu'il pourrait, en général, être combattu et renfermé dans des limites convenables.

23). *Influence de la communication habituelle de tous les locaux ventilés.*— L'on a dit précédemment que les nécessités du service, les habitudes de circulation de MM. les Députés, conduisaient inévitablement à l'ouverture, pour ainsi dire continuelle, de toutes les portes intérieures de communication, et que les seules limites de clôture des espaces à ventiler étaient les deux portes qui des salles des pas-perdus conduisent dans celle des séances et la porte d'entrée du public admis aux tribunes.

Ces conditions anciennes et impérieuses créaient une difficulté sérieuse à l'action régulière de la ventilation, et tous les palliatifs qu'on avait cherché à apporter aux inconvénients qui en résultaient avaient jusqu'ici été vains, surtout en ce qui concerne la salle des séances.

Des tambours en tapisserie, munis de doubles portes, que des hommes de service devaient fermer à chaque passage, de lourdes draperies en velours tombant toujours d'elles-mêmes, n'apportaient que des obstacles impuissants aux rentrées d'air qui se produisaient par les grandes portes inférieures de la salle. L'ouverture accidentelle des portes qui établissent la communication de la salle des séances avec le couloir inférieur

des tribunes et celle des portes de ces tribunes des deux étages offraient le même inconvénient.

L'on a vu plus haut, qu'en ce qui concerne ces deux rangs de tribunes, l'énergie donnée à l'appel, qui produit la ventilation des escaliers, avait suffi pour assurer la sortie de l'air de la salle, tant par les orifices ménagés au bas des portes que par l'ouverture totale de ces baies.

Le même effet a été de suite constaté aux deux petites portes, qui, des tambours d'entrée, permettent de se rendre dans le couloir inférieur des tribunes dont on vient de parler.

Par suite des dispositions actuelles, l'ouverture de ces portes, au lieu de permettre à l'air de ce couloir de rentrer dans la salle, détermine de suite une sortie de l'air de cette salle, même quand les deux grandes portes et les deux rideaux mobiles en tapisserie sont complétement ouverts.

L'appel énergique qu'exerce en ces endroits l'action de la cheminée d'évacuation, par suite des larges sections données aux passages souterrains, a fourni un moyen aussi simple qu'efficace de faire passer dans ces conduits d'évacuation tout l'air que peuvent fournir les portes grandes et petites d'entrée et de passage par les tambours.

Le sol de ces tambours a été mis en communication directe avec le conduit collecteur de la ventilation des escaliers et des tribunes. Cette disposition a suffi pour rendre nulles ou insensibles les rentrées d'air des salons, des groupes A et B, dans la salle.

Des observations répétées pendant plusieurs jours et chaque fois durant deux ou trois heures, en tenant toutes les portes ouvertes et les draperies relevées, ont montré que les dispositions fort simples qui avaient été employées atteignaient le but proposé, même dans ces conditions rendues exprès les plus défavorables. A plus forte raison en est-il encore ainsi quand l'homme de service ferme la porte battante des tambours, dès le passage de quelqu'un, et que les draperies en velours tombent librement.

MM. les Députés, dont les siéges étaient les plus voisins des portes de la salle, et les sténographes placés au rez-de-chaussée, qui étaient précédemment si incommodés par les courants d'air, n'ont plus, on l'espère, lieu de se plaindre.

24). *Réglementation des orifices de passage de l'air.* — Pour parvenir à obtenir cette pondération dans la circulation de l'air, il a été nécessaire de se rendre compte, par des observations nombreuses et suivies, des effets produits tant par les différents orifices d'appel et par les conduits collecteurs de l'air évacué que par ceux d'introduction dans certaines parties. Cette étude préparatoire, assez délicate, a duré pendant presque tout le mois de novembre, et elle a d'ailleurs été rendue facile par la précaution que l'on avait prise dans la préparation des projets de donner à tous les passages réservés à l'air des sections très-amples, qu'il a été ensuite possible de restreindre par des organes mobiles pour la coordination de l'ensemble de la circulation pendant la saison d'hiver, en se ménageant à l'inverse la faculté de les accroître de nouveau pour celle d'été, si la nécessité s'en fait sentir.

25). *Salle des conférences.* — Dans cette salle, où MM. les Députés se réunissent parfois en assez grand nombre, la vaste cheminée qui y est établie, et qu'il était nécessaire d'y conserver, produit par elle-même un appel considérable et indépendant, qui suffisait à lui seul, avec un feu modéré, pour y renouveler l'air une fois par heure, et qui, joint à la ventilation qu'on y avait établie, déterminait des rentrées d'air par la porte principale qui est presque constamment ouverte.

On y a remédié d'abord en restreignant le conduit de fumée de la cheminée, plus large qu'il n'était nécessaire, en modérant ensuite l'appel dans les conduits collecteurs, puis en augmentant le nombre des orifices d'arrivée de l'air par le plafond vitré.

A l'aide de ces légères modifications, les mouvements de l'air à la porte d'entrée de cette salle présentent plutôt une tendance à la sortie qu'à l'admission, et sont à peu près insensibles.

26). *Mise en service des appareils.* — La Chambre s'est réunie le 30 novembre, et ce premier jour de la mise en service du chauffage et de la ventilation n'a pas été heureux. Des plaintes nombreuses et fondées se sont élevées de toutes parts, avec toute la vivacité française, contre la faiblesse de la température et surtout contre le renouvellement trop abondant de l'air.

Sous l'impression de ces premiers effets, peu s'en est fallu que la condamnation absolue des dispositions à adopter, et qui avaient pendant un mois déjà donné des résultats si réguliers, ne fût prononcée séance tenante, et elle a même été formellement proposée dans une lettre adressée à messieurs les questeurs par un grand nombre de membres, qui regretteraient sans doute aujourd'hui un jugement si précipité, qu'explique cette impression nabilité nationale dont aucun de nous n'est exempt.

Des convictions fondées, non-seulement sur les principes de la science, mais encore sur une longue et attentive observation des faits, nous permettaient heureusement de faire tête à cet orage momentané, et nous savions que les moyens ne nous manquaient pas de parer aux inconvénients signalés, dont les causes, d'ailleurs accidentelles, nous étaient connues.

Nous pourrions passer sous silence les circonstances qui ont amené cet échec du premier jour, mais comme il peut en résulter un enseignement utile pour l'avenir, nous les ferons connaître sommairement.

Redoutant, plus qu'il n'y avait lieu de le faire, l'influence d'une réunion nombreuse sur la température de la salle, et ne tenant pas assez compte des résultats d'une expérience de plusieurs années consécutives, acquise au Conservatoire des arts et métiers, laquelle a montré que dans des lieux abondamment ventilés de semblables réunions supportent, et trouvent même convenable une température comprise entre 19° et 21°, et que l'air nouveau fourni doit y affluer à peu près à la même température, l'on nous avait vivement engagés à ne pas fixer celle de la salle pour le moment de l'entrée en séance à plus de 17°.

Outre-passant même cette donnée, l'agent secondaire, chargé de la surveillance des appareils de chauffage, en avait tellement fait modérer les feux, qu'à deux heures, la température dans la salle n'était, en moyenne, que de 16°,7, et que jusqu'à 6 heures du soir, il n'a pas pu la maintenir à ce degré.

Par une coïncidence fortuite, la température extérieure, qui était à 9 heures du matin de 10°,3, s'abaissait brusquement à midi à 7°, à 2 heures à 6°,5, à 6 heures à 4°,5.

Enfin, toujours par l'effet de la même préoccupation, le feu de la cheminée d'appel, qui détermine à la fois l'évacuation et

la rentrée de l'air, avait été activement entretenu. La température moyenne dans cette cheminée était à 2 heures de 32°, alors que celle de l'air extérieur était de 6°,5, ce qui correspond à une différence de 25°,5 entre ces deux températures, et excède d'environ 5°,5 celle de 20°, qui suffit avec une si haute cheminée pour déterminer un appel énergique.

L'examen de toutes ces circonstances contraires et la latitude que les dispositions adaptées nous donnaient pour en éviter le retour ne devaient laisser aucun doute dans notre esprit sur la possibilité de remédier aux inconvénients observés le 30 novembre.

Il n'y avait là, en effet, selon l'expression fort juste de M. le Président, qu'une question de mesure et de pondération, dont l'expérience ne pouvait manquer de donner la solution.

Convaincus qu'à l'aide d'une simple et facile réglementation des appareils, basée sur la marche attentive des effets, l'on parviendrait promptement à les régulariser d'une manière satisfaisante, on a profité d'abord de la journée du 2 décembre, où il n'y avait pas de séance, pour assurer dans toutes les parties de la salle une température de 18°, en modérant l'énergie de l'appel, au moyen d'une restriction des conduits inférieurs d'évacuation à l'aide des registres disposés à cet effet.

Les résultats de l'ensemble des observations faites pendant la journée où le thermomètre n'a pas dépassé + 2°,3 à l'air extérieur, et depuis 6 heures du matin jusqu'à 6 heures du soir, ont montré qu'il avait été très-facile de maintenir dans toutes les parties de la salle une température de 18°, et dans les différents salons celle de 18° à 19°.

La régularité obtenue dans cette journée, où il n'y avait pas de séance, ne fit que confirmer les résultats observés précédemment dans des circonstances analogues, et nous nous bornerons à le constater.

27) *Observations des températures faites pendant les séances.* — Passant maintenant aux observations faites pendant les jours de séances, nous allons successivement faire connaître d'abord les résultats obtenus dans les conditions du service courant d'hiver.

Nous rappellerons que le nombre total des personnes présentes dans la salle peut s'établir, ainsi qu'il suit, au maximum :

Députés.	340.
Places disponibles aux tribunes publiques.	560.
Total :	900.

En comptant donc sur la présence de 900 personnes au plus, on dépasse le chiffre réel moyen.

28) *Résultats des observations de températures faites pendant les séances.* — Nous donnerons ici dans des tableaux séparés les résultats des observations faites pendant une série de séances d'hiver, suffisantes pour permettre de se former une idée de la régularité qu'il est possible d'introduire dans le service, soit lorsque la température de l'air extérieur est renfermée dans les limites moyennes de 5° à 6° au-dessus de zéro, soit quand le thermomètre descend à plus 6° au-dessous de la glace fondante.

Le service avait été réglé pour l'hiver ainsi qu'il suit :

1° La température de la salle à midi et à l'ouverture des séances (2 heures) devait être de 18°;

2° La température de l'air nouveau introduit dans la salle devait être de 20 à 22°;

3° L'excès de la température dans la cheminée d'appel sur la température de l'air extérieur ne devait pas dépasser 20 à 25°.

Observations des températures pendant la durée des séances de janvier 1870, où la température extérieure à 2 heures a été en moyenne de + 7,09.

EMPLACEMENTS DES THERMOMÈTRES.	JOURS DE JANVIER 1870. 12		13		14		15	
	2h.	6h.15'	2h.	6h.30'	2h.	6h.15'	2h.	6h.
Extérieur	° 5,5	° 4,0	° 6,0	° 5,5	° 10,5	° 8,8	° 8,9	° 8,6
Salle des séances. Bureau du Président	18,4	22,0	18,3	22,3	18,8	21,3	17,7	19,2
Salle des séances. Planum	18,0	21,2	18,2	21,5	18,4	21,5	18,1	21,1
Salle des séances. Pourtour	19,1	20,6	18,9	21,0	18,6	21,3	18,4	20,7
Salle des séances. Tribunes. Hautes	19,3	23,7	18,6	24,0	18,6	24,2	18.6	23,7
Salle des séances. Tribunes. Basses	18,9	23,0	18,4	23,8	18,3	23,1	17,7	22,7
Couloirs	17,5	18,5	18,2	18,7	18,1	18,8	17,9	18,8
Salons. Casimir Périer	17,4	18,0	18,1	19,4	17,5	18,2	17,4	18,0
Salons. du trône	18,9	19,5	19,0	19,4	18,9	19,1	19,0	19,2
Salons. des distributions	18,2	18,8	18,4	19,0	18,2	18,7	18,0	18,2
Salons. des conférences	19,9	21,0	19,5	20,5	19,5	20,2	19,4	20,0
Salons. du vestibule de la bibliothèque	17,0	17,8	17,4	18,0	16,8	17,4	17,2	17,8
Salons. de la buvette	20,1	22,0	18,9	19,4	19,5	20,1	18,7	19,5
A l'entrée de la chambre de mélange de la salle des séances	5,4	5,4	5,9	5,9	6,4	6,6	7,6	7,8
Au haut de la cheminée. d'air nouveau de la salle	21,5	21,5	21,6	22,0	22,4	19,5	20,4	21,0
Au haut de la cheminée. d'air nouveau de la salle des conférences	21,2	21,2	20,9	21,1	22,1	21,9	21,2	21,8
Au haut de la cheminée. d'évacuation	25,9	25,3	26,0	26,3	29,0	28,4	27,7	28,2

Ce tableau montre que, pendant ces jours de janvier auxquels les observations se rapportent et où la température extérieure à 2 heures de l'après-midi a été en moyenne de 7°,2, celle de l'intérieur de la salle, depuis le commencement jusqu'à la fin des séances, a toujours été maintenue entre des limites convenables.

Quant à la température des salons, elle a toujours été à très-peu près constante.

Observations des températures à l'extérieur, dans la salle et dans ses dépendances, pendant les jours de séance les plus froids du mois de janvier 1870.

EMPLACEMENTS DES THERMOMÈTRES.	20 JANVIER		21 JANVIER		26 JANVIER	
	à 2h.	à 6h 30' fin de la séance.	à 2h	à 6h fin de la séance.	à 2h.	à 6h. fin de la séance.
Extérieur	° — 2,5	° — 2,5	° — 1,3	° — 1,5	° — 1,1	° — 0,1
Salle des séances. — Bureau du Président	17,9	21,3	18,7	21,9	18,6	21,9
Salle des séances. — Planum	18,0	20,7	18,8	21,2	18,2	20,9
Salle des séances. — Pourtour	18,4	20,2	19,2	20,6	18,7	20,8
Salle des séances. — Tribunes.. Hautes	18,6	24,8	24,6	23,5	21,5	24,0
Salle des séances. — Tribunes.. Basses	18,3	23,9	23,9	23,3	20,9	23,7
Couloirs	17,5	18,7	18,3	18,9	18,1	19,0
Salons. — Casimir Périer	17,7	18,3	17,9	18,8	18,4	18,8
Salons. — du trône	19,2	19,6	19,2	20,0	19,8	20,1
Salons. — des distributions	18,4	18,8	18,7	19,3	19,0	19,4
Salons. — des conférences	18,8	20,2	19,0	21,5	19,7	20,6
Salons. — du vestibule de la bibliothèque	16,8	17,6	17,2	18,2	17,5	18,3
Salons. — de la buvette	16,8	18,4	15,8	19,4	14,4	18,0
A l'entrée de la chambre de mélange de la salle des séances	2,8	2,4	1,9	1,7	0,6	0,5
Au haut de la cheminée. — d'air nouveau de la salle	21,6	23,1	22,7	22,0	22,6	23,0
Au haut de la cheminée. — d'air nouveau de la salle des conférences	21,2	21,6	21,9	21,8	21,6	21,8
Au haut de la cheminée. — d'évacuation	19,3	19,1	19,3	18,7	17,4	17,8
Nombre de personnes.. — députés	339		339		339	
Nombre de personnes.. — public	560		555		530	
Total	899		894		869	

NOTA. — On remarquera que, par l'effet de sa circulation dans les galeries souterraines, l'air extérieur en arrivant à la chambre de mélange était notablement plus chaud que l'air extérieur. La différence s'est élevée à 4°,9 et à 5°,3.

Observations des températures à l'extérieur, dans la salle et dans ses dépendances, pendant les jours de séance les plus froids du mois de février 1870.

EMPLACEMENTS DES THERMOMÈTRES.	9 FÉVRIER à 2h.	9 FÉVRIER à 6h fin de la séance.	10 FÉVRIER à 2h.	10 FÉVRIER à 6h 30' fin de la séance.	12 FÉVRIER à 2h.	12 FÉVRIER à 5h 30' fin de la séance.
Extérieur	— 2°,0	— 2°,5	— 6°,6	— 6°,5	— 6°,7	— 6°,3
Salle des séances. Bureau du Président	18,0	20,6	17,9	20,3	18,8	21,0
Salle des séances. Planum	18,2	20,0	18,3	20,0	18,5	20,7
Salle des séances. Pourtour	18,6	19,7	18,5	19,6	18,9	20,2
Salle des séances. Tribunes. Hautes	19,9	22,4	19,6	23,5	19,8	24,0
Salle des séances. Tribunes. Basses	19,2	21,5	18,8	22,8	19,3	23,4
Couloirs	18,7	19,0	18,5	18,7	18,4	18,9
Salons. Casimir Périer	17,5	17,9	16,9	17,6	18,7	18,8
Salons. du trône	18,9	19,1	18,4	19,0	20,7	20,9
Salons. des distributions	18,1	18,7	17,8	18,6	19,9	20,0
Salons. des conférences	19,4	20,2	19,2	20,8	19,7	20,4
Salons. du vestibule de la bibliothèque	17,1	17,7	16,1	17,3	17,9	18,5
Salons. de la buvette	18,6	19,8	14,5	16,2	10,0	11,3
A l'entrée de la chambre de mélange de la salle des séances	4,5	4,1	0,9	0,7	— 1,4	— 1,6
Au haut de la cheminée. d'air nouveau de la salle	22,0	21,8	22,0	24,0	23,0	25,3
Au haut de la cheminée. d'air nouveau de la salle des conférences	21,6	21,7	21,1	20,6	21,6	21,8
Au haut de la cheminée. d'évacuation	17,2	17,0	17,3	17,3	17,4	17,5
Nombre de personnes.. députés	340		340		340	
Nombre de personnes.. public	560		520		540	
Total	900		860		880	

NOTA. — On remarquera que, par l'effet de sa circulation dans les galeries souterraines, l'air extérieur en arrivant à la chambre de mélange était notablement plus chaud que l'air extérieur. La différence s'est élevée à 6°,5 et même à 8°,1.

29) *Conséquences des observations précédentes relatives à la ventilation d'hiver.*—Les deux tableaux précédents relatifs aux jours les plus froids de janvier et de février, où la température, pendant les heures de séance, a été inférieure à zéro et est même descendu à — 6°,07, montrent que celle de la salle a été maintenue dans des limites convenables et que celle des salons est demeurée à peu près constante.

30) *Observations relatives aux tribunes.* — Il y a lieu de faire remarquer que, pour observer facilement la température de l'air évacué des tribunes, on avait été conduit à placer les thermomètres précisément à l'extérieur des portes sur les grilles d'évacuation de leur panneau inférieur. Les températures ainsi accusées étaient celles de l'air qui, entré dans les tribunes à celles de la salle, avait circulé autour d'un public nombreux et serré, à raison de quatre personnes au moins par mètre carré; elles sont, par conséquent, plus élevées que la température de l'air réellement respiré par ce public. Elles n'ont d'ailleurs pas dépassé les limites de celles que l'on supporte facilement dans des lieux abondamment ventilés, et si, dans ces tribunes, le public éprouve quelque malaise, cela provient principalement de ce qu'il y est excessivement à l'étroit, par suite de l'exiguïté de la place réservée à chaque individu. Le seul moyen d'éviter cet encombrement serait d'établir sur les banquettes des divisions en stalles suffisamment larges.

31) *Observations personnelles recueillies près de MM. les Députés, pendant la session d'hiver.* — En même temps que l'on constatait la marche des températures dans toute l'étendue du palais soumis à l'action des appareils, l'on recueillait attentivement toutes les observations qui étaient faites par MM. les Députés, et qui en signalant quelques inconvénients locaux pouvaient servir d'indications pour certaines modifications de détail, et permettre d'arriver à une réglementation généralement satisfaisante.

Notre collègue, M. Tresca, n'a pas hésité à se charger lui-même de cette partie délicate et un peu ingrate des études, et c'est par suite de ces observations continues qu'il est parvenu aux résultats obtenus.

32) *Discussion de la marche des températures.* — L'expérience des premières séances nous avait montré que, par suite de la limitation obligée de l'énergie qu'il convenait de donner à la ventilation, il était difficile de s'opposer d'une façon absolue à l'élévation progressive de la température dans l'intérieur de la salle. Après avoir reglé d'une manière à très peu près uniforme, cette température à 18° pour l'heure de deux heures, qui est celle de l'ouverture des séances, l'on a constaté par des observations

continues, répétées chaque jour, qu'elle s'élevait progressivement et atteignait généralement 21° à la fin des séances; par suite de l'influence de la présence des membres de l'assemblée et de l'éclairage.

Cette température de 21° et même celle de 22° n'ont rien d'excessif dans des lieux ventilés, ainsi que nous l'avons déjà démontré; mais il importait cependant de chercher à ne pas la dépasser. Un moyen sûr et facile était à notre disposition, par la manœuvre des registres d'air chaud et d'air froid, qui permettent de régler la température de l'air affluent; mais la sensibilité de plusieurs de MM. les Députés à de légères variations de ce genre nous imposait une grande prudence.

Pour bien étudier la marche des effets, M. Tresca a représenté par un tracé, à l'aide de données observées à des intervalles de temps très-rapprochés, les températures au bas de la salle et celles de l'air affluent, de manière à obtenir la loi graphique des variations des unes et des autres.

Puis en faisant régler ces dernières, celles de l'air affluent, de manière à limiter les premières, tout en évitant de produire une sensation perceptible de refroidissement, il est graduellement parvenu à renfermer l'échauffement de la salle, vers la fin des séances, dans des limites très-supportables.

Nous reproduisons, planche 72, la figure obtenue dans la séance du 14 décembre 1869, où la température extérieure ayant à peine varié entre 2 heures et 6 heures, celle de la salle, qui était de 18° à l'ouverture de la séance, s'est graduellement élevée jusqu'à 21°,6, tandis que celle de l'air affluent, qui était à 2 heures de 20°,5, s'est à fort peu près maintenue à ce même degré, ce qui a suffi pour ralentir d'une manière sensible la marche des accroissements de température dans la salle, comme le montre le tracé.

Entre ces limites, la température de la salle est très convenable, et celle de l'air affluent ne provoque pas de réclamations.

On a continué ces observations, et l'on s'est assuré qu'il était facile de profiter davantage des facilités que donne la disposition des appareils pour faire varier simultanément ces températures, sans qu'il en résulte d'inconvénients.

On voit donc, par cet exemple, que sous ce rapport les dispositions prises laissent une grande latitude d'action, qui n'est li-

mitée, comme le renouvellement de l'air, que par l'impressionabilité des membres de l'assemblée.

33). *Observations diverses.* — Il est bon cependant de dire un mot d'un défaut assez sérieux des anciens orifices d'évacuation de l'air vicié, que l'on avait cru pouvoir conserver sans modifications, et qui nous a été signalé par plusieurs de MM. les Députés.

Dans la disposition primitive que l'on devait remplacer, l'appel de l'air à évacuer se produisait, comme actuellement, mais d'une manière insuffisante, par les gradins mêmes de la salle. Une partie des orifices d'appel étaient ouverts sous les bancs et formés par de nombreux tuyaux en zinc de $0^m,025$ de diamètre seulement.

Cette disposition n'avait pas d'inconvénients pour les personnes assises sur le banc; mais les membres du rang supérieur, qui, en étendant les jambes, avaient les pieds au-dessus et à peu de distance des orifices, ressentaient l'influence continue d'un léger courant d'air, qui, bien qu'à la température de celui dans lequel le reste du corps était plongé, déterminait à la longue un refroidissement désagréable à des personnes délicates.

Il a été facile de remédier à cet inconvénient en isolant complétement ces orifices anciens, que l'on pouvait même supprimer, de l'appui sur lequel reposent les pieds du banc lui-même.

34). *Influence de très-légères différences dans l'energie des appels.* — On donnera aussi une idée de l'attention qu'il est nécessaire d'apporter aux moindres circonstances, lorsqu'il s'agit de régler une première fois les conditions de marche d'une aussi vaste circulation d'air, en faisant connaître quelques-uns des inconvénients signalés, et les mesures prises pour y porter remède.

Ainsi, jusqu'au 6 décembre, la section de passage de l'air évacué du côté droit de la salle étant, comme on l'a indiqué plus haut, de $0^{mq},800$, tandis que celle du côté gauche n'était que de $0^{mq},685$, et l'effet de cette différence étant encore accru, sans cause appréciable, par le léger excès de la vitesse de $1^m,46$, observée au premier passage sur celle de $1^m,41$, obtenue au second, le volume d'air vicié extrait du côté droit a été trouvé

de 1^{mc},168 par seconde, tandis que du côté gauche il n'était que de 0^{mc},895.

Cette différence, assez faible cependant, dans l'énergie des appels, parut pouvoir expliquer l'existence d'un mouvement général de l'air de la salle, de la gauche vers la droite, et qui fut signalé dans cette séance par M. le Président et par quelques députés assis vers les bancs supérieurs de la gauche.

Pour y remédier, on restreignit l'orifice d'évacuation du côté droit, et les mouvements de l'air observés de gauche à droite cessèrent. En donnant à cette restriction la proportion convenable pour obtenir à peu près l'égalité dans les volumes d'air extraits, l'on est arrivé à une régularisation satisfaisante sous ce rapport, puisqu'aucune observation sérieuse n'a été faite depuis à ce sujet.

Une autre circonstance, analogue à ce qui avait été remarqué antérieurement au Conservatoire, s'est produite vers les gradins supérieurs du centre de la salle. Les orifices d'arrivée de l'air au-dessus de cette partie, et ceux d'évacuation correspondants, se trouvent à peu près dans le plan méridien de l'enceinte, moyen entre la cheminée d'air nouveau et celle d'appel, et il est assez naturel d'admettre que les mouvements de l'air, y étant plus directs, sa circulation y est un peu plus rapide.

L'on a cru devoir attribuer à cette circonstance l'impression un peu plus sensible éprouvée par plusieurs membres de l'Assemblée assis sur les bancs inférieurs du centre de la salle.

Si la cause réelle était effectivement celle que l'on vient d'indiquer, il était facile d'y remédier en fermant quelques-uns des orifices supérieurs du plafond immédiatement placés au-dessus de ces bancs. C'est ce que l'on a fait le 7 décembre, et les effets indiqués n'ont plus été signalés.

Après avoir tenu compte, ainsi qu'on vient de le faire voir, de toutes les observations faites par divers membres de la Chambre, nous ne pouvons nous empêcher de faire remarquer que ces observations, auxquelles on a cherché à faire droit, nous ont paru souvent provenir d'une susceptibilité exagérée et que, pour notre part, nous avons, pendant des journées entières, séjourné dans cette salle, chauffée seulement à 17°, ventilée plus énergiquement qu'elle ne l'est aujourd'hui, et que les mouve-

ments de l'air, loin de nous paraître désagréables, produisaient sur nous un effet que nous trouvions bienfaisant.

Nous pensons que, quand les membres futurs de l'Assemblée se seront habitués au nouvel état de choses, et qu'ils auront acquis par l'expérience la conviction qu'une circulation d'air arrivant à la température ambiante ne cause ni rhumes ni douleurs, ils en reconnaîtront mieux les avantages que leurs prédécesseurs ne l'on fait peut-être au début du service.

35). *Observations sur les courants d'air signalés dans la salle des séances.* — Il n'est peut-être pas inutile d'appeler ici l'attention sur les effets de la circulation de l'air dans l'intérieur des lieux habités, afin de permettre d'apprécier à leur véritable valeur certaines critiques sur les résultats de la ventilation de la salle des séances.

L'air, on le sait, n'est jamais en repos, et dans nos appartements le mieux clos, il est sans cesse en mouvement. Le voisinage des murs, celui des fenêtres surtout, les rentrées par les portes et par leurs joints, les appareils d'éclairage, le tirage des cheminées, la présence même des individus, y déterminent des différences de température, des appels, des circulations qui constituent autant de courants d'air, souvent fort sensibles.

Dans les grands appartements, dans les salons, dans les palais les plus somptueux, chauffés avec le plus grand soin par des calorifères généraux et par de vastes cheminées, il n'est pas possible, l'hiver, de rester près des fenêtres le mieux closes, sans ressentir l'action d'un courant d'air froid descendant, qui glace la tête. Près des cheminées, où brille un feu splendide, on éprouve presque toujours par derrière un effet analogue.

Leur tirage détermine un appel d'air extérieur, qui refroidit la tête, les reins, ou les jambes d'un côté, tandis que de l'autre on ressent l'impression d'une chaleur trop énergique.

Le palais des Tuileries, l'Hôtel de Ville, l'hôtel de la Présidence du Corps Législatif, tous ceux dec Ministères, offrent assez d'exemples de ces effets pour qu'aucun doute ne soit permis.

Nous avons rappelé au commencement de cette note les inconvénients que l'on reprochait à l'ancien état de choses, aux premiers rangs desquels étaient les rentrées d'air par toutes les portes de la salle et des tribunes, et l'insalubrité de l'atmo-

sphère intérieure après de longues séances. Certaines places, celles des huissiers, des sténographes et d'autres agents, au dire de tous, étaient d'un séjour excessivement pénible.

Aujourd'hui l'air de la salle est appelé et passe de l'intérieur à l'extérieur, non-seulement par les orifices disposés au planum et dans les gradins, mais encore par les entrées dans la salle et par toutes les portes des tribunes. L'air introduit, au lieu d'arriver près des personnes, en partie trop chaud, par des bouches de chaleur, et en partie froid, avec vitesse, par les ouvertures des portes, n'a d'accès dans cette salle qu'à 17^{m} ou 18^{m} de distance des membres de la Chambre, avec des vitesses de 0^{m},30 au plus en 1″, et à une température de 20°, égale ou un peu supérieure à celle que l'on veut y maintenir.

Il y circule avec des vitesses tellement faibles que la flamme d'une bougie n'en fournit aucun indice.

Sans doute, certains organismes plus ou moins impressionnables n'y sont pas insensibles; mais, en général, cette circulation produit une sensation plutôt agréable que contraire, et elle détermine, dans l'acte de la respiration, chez la plupart des personnes, l'impression d'un air plus pur que par le passé.

Ce qui manifeste d'ailleurs d'une manière incontestable cette dernière amélioration hygiénique, c'est que le couloir inférieur, qui règne autour de la salle, au bas des escaliers, et par lequel s'échappe vers la cheminée d'appel l'air qui sort de la salle et des tribunes par les portes de celles-ci, a été parfois imprégné, à un certain degré, de cette odeur spéciale et caractéristique de l'air vicié extrait des lieux de réunions nombreuses.

Les Députés et le public contenus dans la salle ont donc été soustraits à l'action de ces miasmes insalubres produits par la respiration et par les émanations cutanées.

Ce résultat hygiénique est assez important, et il peut exercer sur la santé, sur le bien-être, on pourrait même dire sur la liberté d'esprit des membres de la Chambre, une influence assez salutaire pour permettre de faire abstraction des délicatesses un peu exagérées de certaines organisations particulières.

Ajoutons qu'il a été facile de faire cesser cette légère infection des couloirs inférieurs, et de soustraire les agents de service à son influence, en introduisant dans la cage des escaliers

de l'air pur chaud, venant des locaux extérieurs voisins, et en activant un peu la ventilation dans cette partie.

Enfin nous allons montrer par des résultats d'observations directes que ces prétendus courants d'air, que quelques-uns de MM. les Députés s'étaient presque fait une habitude de signaler, n'exerçaient, la plupart du temps, pas d'influence sensible sur la stabilité variable de la flamme d'une bougie.

36). *Observations directes du mouvement de l'air dans l'intérieur de la salle.* — Les impressions personnelles des individus sont trop variables avec les tempéraments, avec les constitutions, avec les dispositions accidentelles, etc., et surtout trop contradictoires de l'un à l'autre, pour qu'il soit possible de les coordonner et d'en tirer le plus souvent des conclusions propres à servir de bases à un règlement quelconque de la marche des appareils. Nous pourrions en citer de nombreux et singuliers exemples, que nous ont fournis les notes prises chaque jour des remarques faites par MM. les Députés. Nous nous en abstiendrons et nous nous bornerons à faire connaître les résultats directs de plusieurs séries d'observations exécutées à l'aide des flammes de bougies réparties en divers endroits de la salle, moyen simple et à l'abri de toute préoccupation personnelle de constater l'existence des moindres courants d'air.

37). *Expérience du dimanche* 6 *janvier* 1870. — Des bougies allumées ont été à cet effet placées à trois hauteurs différentes sur les bureaux répartis sur cinq rayons de l'hémicycle, savoir : aux deux extrêmes, au centre et aux deux intermédiaires, l'une au bureau le plus bas, la seconde au milieu, la troisième au bureau du pourtour.

Les registres de la ventilation étaient ouverts à 15° seulement, la cheminée d'appel à peine chauffée à la température de 30° environ.

Dans toutes les positions, les flammes des bougies sont d'abord restées droites et calmes, même quand on ouvrait ou qu'on fermait brusquement et successivement les portes des tambours d'entrée, et que l'on agitait les draperies du tambour.

Après quelque temps d'observation, on a cependant remarqué que, vers l'extrême droite, les flammes indiquaient parfois un

léger mouvement général de l'air dirigé vers l'intérieur de la salle et de haut en bas. En se plaçant au pourtour ou sur les bancs supérieures de l'extrême droite, on ressentait l'impression d'une affluence d'air, sensible, mais non-désagréable.

Pour exagérer les effets, on a ouvert les registres de ventilation à 30°.

Partout, excepté vers les bancs de l'extrême droite, les flammes des bougies ont conservé leur immobilité; mais, de ce côté, le mouvement de l'air est devenu plus sensible et susceptible de gêner quelques personnes impressionnables.

L'on a pensé que cette affluence de l'air, vers ce côté, pouvait provenir précisément de ce que quelque temps auparavant on avait obstrué, sans notre ordre, une partie du conduit d'air qui y aboutit au-dessus de la corniche et fermé celui qui mène au proscénium, dans le but de combattre les effets observés, ce qui revenait à restreindre notablement l'ensemble des orifices d'accès d'air, contrairement au principe qui avait engagé à leur donner les plus larges dimensions possibles.

On a alors fait rouvrir ces conduits, et les mouvements de l'air sont devenus immédiatement moins sensibles sur les flammes des bougies et sur les personnes. L'on a donc décidé qu'on laisserait, comme cela avait été prescrit à l'origine, tous ces conduits ouverts.

Mais, en même temps et conformément à ce qui avait été décidé dans une réunion de la Commission chez M. le Président, l'on a prescrit :

1° D'augmenter les orifices d'évacuation de l'air des tribunes basses;

2° D'établir, aux débouchés des grilles des tambours, des registres pour permettre d'y régler l'énergie de l'appel qui y est exercé.

On a pensé, par ces dispositions, accroître la proportion du volume d'air évacué des tribunes, par rapport au volume évacué de l'intérieur de la salle, sans augmenter d'abord le volume total appelé par la cheminée, ce qui peut contribuer à diminuer la circulation de l'air autour des gradins, tout en maintenant la salubrité générale au même degré.

Observations du 28 août 1870.

L'on a répété, ce jour, les observations faites le 6 février, sur les mouvements d'air manifestés par des flammes de bougies.

Le temps, très-chaud les jours précédents, étant devenu froid, la Chambre s'étant ajournée, il n'y avait pas eu de séances depuis plusieurs jours; — le chauffage avait été interrompu et l'on n'avait allumé, le 26 au matin, qu'un des petits calorifères.

L'air introduit n'était qu'à 17°. Ces deux circonstances étaient évidemment défavorables.

Les bougies disposées sur les pourtours de la salle vers le milieu de la hauteur des gradins ont fourni les indications suivantes :

EMPLACEMENTS.	DE 1h 1/2 A 2h 1/2.	DE 2h 3/4 A 3h 1/2.
Côté droit (MM. Montagnac et Chaix-d'Est-Ange).	Calme complet.	Calme complet.
Cintre..................	Calme complet.	Calme complet.
Côté gauche..	Mouvement prononcé de gauche à droite, incommode.	Calme complet.

Il y avait sortie d'air très-sensible au tambour du côté gauche. — Sortie nulle et même rentrée à celui de droite. (L'on a reconnu, le 30, que le registre de ce côté était fermé, sans que l'ordre en ait été donné.) L'appel était énergique à toutes les grilles du planum et des gradins.

L'on a pensé que l'effet observé au commencement de cette séance pouvait être attribué à ce que le chauffage, ayant été interrompu pendant plusieurs jours, les conduits supérieurs ne s'étaient échauffés que graduellement, et que ceux du côté gauche, plus longs par rapport à l'arrivée d'air, donnaient d'abord de l'air plus froid que ceux du côté droit. Cet air descendait plus rapidement vers les orifices du planum. Un peu plus tard, la température de l'air, dans ces conduits, étant devenue plus uniforme, l'effet a dû cesser comme on l'a observé, ainsi qu'on va le voir d'ailleurs par les observations faites le 30 avril.

Observations du 30 *avril.*

Dans la visite faite ce jour de 1h30′ à 3h30′, l'on a de nouveau répété les observations avec des bougies. La salle avait été chauffée la veille, et la température y était de 18° à peu près partout. L'air affluent était encore à 20° environ.

Dans toute l'étendue de la salle, à la place des membres qui se plaignaient le plus souvent des mouvements de l'air, la flamme des bougies est constamment restée immobile. — L'honorable M. Buffet s'étant trouvé à la salle des conférences, il a bien voulu venir constater cet effet avec nous, en visitant toute l'installation de la ventilation.

Le registre du tambour de droite qui, par une circonstance inconnue, s'était trouvé fermé, ayant été ouvert, la rentrée de l'air par ce tambour, que l'on avait d'abord observée en arrivant, a cessé de suite, et l'on a constaté, au contraire, sa sortie continue même quand les portes d'accès dans ce tambour ont été ouvertes. Cette circonstance montre combien il est nécessaire d'exercer une surveillance exacte sur tous les détails des dispositions prises et de ne pas les altérer, sans se baser sur des résultats bien constatés.

En résumé, l'on voit, par ces observations, que, quand les dispositions prescrites sont observées, qu'aucune altération du jeu des appareils n'est introduite, il ne se produit nulle part de courants d'air sensibles et susceptibles de faire vaciller même la flamme d'une bougie. Il nous est donc bien permis de dire que, fort souvent, les plaintes formulées par quelques-uns de MM. les députés, en très-petit nombre, il est vrai, n'avaient de fondement que dans des dispositions personnelles, dont il n'est pas possible de tenir compte dans un service général.

38). *Salle des conférences.* — Ce salon, qui ne reçoit souvent qu'un fort petit nombre de Députés et qui parfois en contient, au contraire, plus de cinquante à soixante, présentait des difficultés particulières. Il est chauffé, en partie, à l'aide d'une vaste cheminée monumentale, qui détermine une évacuation d'air considérable (de 2000mc environ par heure), ce qui, dans l'état de choses précédent, occasionnait des rentrées d'air violentes par

sa porte principale, presque constamment ouverte. En y établissant une ventilation active, on devait craindre d'une part d'augmenter cet inconvénient, et de l'autre de nuire au tirage de la cheminée.

Pour parer à ces deux éventualités, on a établi, pour compléter le chauffage de ce local de 1995^{mc} de capacité, un calorifère spécial, avec chambre de mélange, de laquelle part une cheminée montante, qui conduit l'air nouveau dans le grenier vitré, d'où la lumière arrive à cette salle. L'on a fait enlever une partie des verres du plafond, et l'on a successivement accru les ouvertures d'accès de l'air, jusqu'à ce que l'alimentation en air nouveau fût équivalente et même un peu supérieure à l'évacuation produite à la fois par la cheminée et par les six orifices d'appel, mis par des collecteurs spéciaux en communication avec la grande cheminée d'évacuation.

Après quelques tâtonnements assez faciles et au moyen d'un règlement convenable de la section du collecteur d'appel, on a obtenu le résultat désiré.

La porte principale de cette salle des conférences peut rester ouverte en permanence, pour la circulation presque continuelle de MM. les Députés, sans qu'aucune rentrée d'air sensible se manifeste. Il se produit plus généralement une légère sortie, vers le couloir et la salle des Distributions.

Quant à la température ordinaire dans la salle des conférences, les tableaux précédents montrent qu'elle est très-facilement maintenue entre 18 et 20°, ce qui paraît convenable. Il serait facile de la tenir plus élevée si on le désirait, mais cela ne paraît pas nécessaire.

39). *Buvette.*—Cette annexe de la salle des conférences n'avait pas été comprise dans le programme des locaux qu'il s'agissait de chauffer et de ventiler, et la construction spéciale de cette salle, couverte par un plafond vitré et fermée du côté du jardin par une devanture en glaces, présentait quelques difficultés. L'on y a remédié au moyen d'une large prise d'air ouverte dans la chambre inférieure de mélange du calorifère de la salle des conférences, et d'un emprunt direct d'air chaud non mélangé d'air froid qui arrive à travers le plancher par un grillage de 1^{mq}56, sur lequel on peut, au besoin, se chauffer les pieds.

La température de cette annexe est maintenue entre 17 et 19° pendant la durée des séances.

40). *Salons Casimir Périer, salles du trône, des distributions, vestibule de la bibliothèque et couloirs.* — Les tableaux précédents font voir avec quelle régularité il s'établit et se maintient pendant la saison d'hiver, dans ces vastes salons, une température convenable et peu différente de celle de la salle des séances et de celle des conférences, de sorte qu'en passant d'un local à un autre, l'impression est insensible.

Cependant la salle du trône, où se réunissent le soir les rédacteurs des comptes rendus des séances, et où MM. les Députés viennent souvent corriger, pendant d'assez longues heures, les épreuves de leurs discours, est habituellement maintenue à une température de 19°, un peu plus élevée d'un degré environ que les autres. Il nous a paru convenable de ne rien changer à ce résultat, que l'ouverture permanente d'une immense porte renferme d'ailleurs dans d'étroites limites.

A l'inverse, le couloir qui longe les trois salons du côté de la grande cour et le vestibule de la bibliothèque du palais n'ont ordinairement qu'une température d'environ 17°, un peu inférieure à celle de ces salons, ce qui provient de la surface vitrée considérable de vastes fenêtres.

On aurait pu aussi y obtenir une température un peu plus élevée, si on l'avait jugé nécessaire; mais nous avons pensé que cela était inutile pour un lieu de passage, et d'ailleurs il nous a paru que quelques membres recherchaient volontiers, pour causer et pour se promener à l'intérieur, cet emplacement un peu plus frais que les autres salons.

Dans tous ces locaux qui constituent le groupe A, et qui sont en communication permanente les uns avec les autres par d'immenses baies sans portes, l'air chaud arrive en partie vers les plafonds, en partie par des orifices grillés ménagés dans le sol, et l'air vicié est extrait à fleur du sol par des orifices semblables qui le versent dans le premier collecteur, d'où il passe au collecteur général, et de là dans la cheminée d'appel par un registre dont on règle la position selon qu'il convient pour équilibrer l'énergie de la ventilation dans les différentes parties de l'ensemble du système.

41.) *Évacuation de l'air vicié et introduction de l'air nouveau.* — Il nous reste à faire connaître les résultats des observations à l'aide desquelles on a déterminé les volumes d'air évacués des différentes parties du palais soumises à la ventilation, et ceux qui y ont été introduits.

De premières expériences faites en octobre 1269, en opérant sur les galeries et les orifices de passage complétement ouverts, nous montrèrent d'abord qu'avec un feu très-modéré dans la cheminée d'appel, le volume d'air évacué par cette cheminée, tant de la salle que des salons des groupes A et B, pouvait s'élever à 61560^{mc} environ, par heure, ce qui dépassait le volume maximum qui avait été fixé pour la salle à 33,000^{mc}

Les salons des groupes A et B. . .	15,000
Total.	45,000^{mc} par heure.

Mais, avant l'ouverture même de la session, l'observation de l'effet des ouvertures des portes de la salle et des tribunes nous avait conduit à reconnaître que, pour éviter les rentrées d'air dans la salle, et pour en assurer, au contraire, la sortie modérée à toutes les ouvertures, il était nécessaire de coordonner la ventilation de cette salle avec celle des salons des groupes A et B, et par suite de réduire, dans une certaine proportion, la part de la salle.

On restreignit, en conséquence, après quelques tâtonnements, par des cloisons légères en planches, les trois collecteurs qui conduisent l'air appelé de la salle aux sections suivantes :

Côté gauche.	0^{mq},635
Planum..	0 ,748
Côté droit.	0 ,500
Total.	1^{mq},883

Les deux registres régulateurs pour la salle et ses dépendances, ainsi que celui des groupes A et B, restaient d'ailleurs, à notre disposition pour opérer au besoin des restrictions plus grandes, selon les circonstances.

Enfin, l'on avait encore un autre moyen d'activer l'évacuation, l'intensité plus ou moins grande du feu de la cheminée d'appel, que l'on modère ordinairement, de manière que la température

moyenne dans cette cheminée n'excède que de 20° environ celle de l'air extérieur.

C'est dans ces conditions que l'on a obtenu les résultats suivants, qui donnent une mesure de l'état où l'on peut maintenir la marche de la ventilation et les limites entre lesquelles on peut la faire varier.

Nous ferons connaitre d'abord quelques-uns des résultats obtenus, tant pour la salle que pour les salons des groupes A et B, alors que les orifices des conduits collecteurs particuliers de la salle avaient été réduits de manière à n'offrir ensemble qu'une section de $2^{mq},181$ au lieu de celle de $10^{mq},09$, dont on peut disposer.

Volumes d'air évacués par heure.

Novembre 1869.	Salle, tribunes, escaliers et couloirs.	Salons.	TOTAL.	OBSERVATIONS.
	mc.	mc.	mc.	
12	28364	10120	38484	Plus 2009^{mc} par la cheminée de la salle des conférences.
24	29556	9684	39240	
29	27999	18428	46527	Plus 2822^{mc} du vestibule d'entrée du public.
Moyennes.	28639	12744	41417	

Ces chiffres se rapprochent notablement des limites qui ont été fixées et dépassent de beaucoup les besoins.

En effet, le volume total de la salle, des tribunes, des escaliers étant de 11354^{mc}, celui de 28639^{mc} évalués correspond à un renouvellement complet 2.52 fois par heure et est plus que suffisant.

Le volume des salons des groupes A et B étant de 8988^{mc}, l'évacuation de 12744^{mc} correspond à un renouvellement complet 1.42 fois par heure, ce qui dépasse de beaucoup le volume qui serait nécessaire pour ces locaux, où il n'y a ordinairement que peu de personnes.

Le 30 octobre, une expérience directe, faite dans la cheminée d'introduction d'air nouveau dans la salle, avait montré que le volume que cette cheminée pouvait fournir s'élevait à 31535^{mc} par heure.

Le 24 novembre, une autre expérience donnait pour le volume total le chiffre de 37440^{mc} par heure.

Le volume d'air introduit dans la salle pouvait donc atteindre et même dépasser celui qui en était extrait, ainsi que l'indiquaient d'ailleurs les sorties d'air légères qui se faisaient par les portes, lorsqu'elles étaient ouvertes, et qui remplaçaient les rentrées intolérables antérieurement observées.

Enfin, les volumes précédents excédaient encore notablement les besoins, ainsi qu'on le verra plus loin.

Les résultats précédents sont importants à constater dès à présent, car ils montrent qu'avec les larges proportions qui ont été adoptées l'on peut, par la seule action de l'aspiration de la cheminée, obtenir pour la salle une introduction d'air nouveau égale à celle de l'évacuation, sans recourir à des appareils mécaniques, dont l'emploi compliquerait inutilement le service et accroîtrait la dépense, puisque, dans tous les cas, la cheminée de ventilation et les mêmes conduits d'évacuation seraient nécessaires.

Les observations sur l'ensemble du régime qu'il convenait d'adopter, pour concilier un renouvellement suffisant de l'air avec les sensations qu'il produit, nous ont engagés, comme nous l'avons indiqué, à restreindre les orifices des conduits collecteurs de la salle et l'énergie de l'appel de la cheminée au delà des limites précédentes. Une expérience exécutée le 3 décembre, un

jour de séance, où la salle pouvait contenir au plus	280 députés
les tribunes et les dépendances.	432 personnes
et en outre, fonctionnaires, sténographes. . . .	70
	782

a montré que la ventilation, avec une différence de température de 28°,1 entre celle de la cheminée d'appel et celle de l'air intérieur, avait une activité suffisante pour la salubrité, quand le volume d'air total évacué de la salle et des tribunes s'élevait à 15952^{mc} en une heure, ce qui correspond à

$$\frac{15952}{782} = 20^{mc},45 \text{ par personne et par heure.}$$

Dans cette même expérience, les conduits collecteurs spéciaux

de la salle évacuaient 10000^{mc} par heure, ce qui, pour 280 députés au plus, correspondrait à

$$\frac{10000}{280} = 37^{mc} \text{ par heure et par personne.}$$

Malgré cette ventilation abondante, la marche des effets a paru généralement satisfaisante à MM. les Députés.

L'évacuation de 13952^{mc} par heure correspond pour la salle, les tribunes, les escaliers et les couloirs dont la capacité est de 11344^{mc}, à un renouvellement total de l'air obtenu,

$$\frac{15952^{mc}}{11354^{mc}} = 1,40 \text{ fois par heure ;}$$

ce qui paraît aussi suffisant pour la salubrité générale, mais non tout à fait pour éviter l'odeur dans les couloirs, inconvénient auquel on a porté remède, comme on l'a indiqué plus haut.

Le même jour, 3 décembre, des observations faites sur l'évacuation de l'air, dans les salons des groupes A et B, ont montré que le volume total d'air extrait de ces espaces, était de 14832^{mc} par heure. Leur capacité étant de 8988^{mc}, cela correspond à un renouvellement total opéré :

$$\frac{14832}{8988} = 1,65 \text{ fois par heure.}$$

Une autre expérience, exécutée le 6 décembre à une heure, où l'excès de la température dans la cheminée d'évacuation sur celle de l'air extérieur n'était que de 23°,4, a donné pour le volume d'air évacué de la salle, des tribunes, des escaliers et des couloirs, 14915^{mc} par heure, et pour la salle seule 8543^{mc}, ce qui, pour la totalité de la salle et pour 782 personnes, correspondait à

$$\frac{14915}{782} = 19^{mc},07 \text{ par heure et par personne,}$$

et pour la salle seule, et 280 membres de l'assemblée, à

$$\frac{8543}{280} = 30^{mc},51 \text{ par heure et par membre.}$$

L'on voit déjà, par ces résultats, que, pendant la saison d'hiver,

dans toutes les parties du vaste palais du Corps législatif, l'air est renouvelé à peu près également et environ une fois et demie par heure, ce qui paraît jusqu'ici suffisant pour ces réunions d'un public soigné dans sa tenue, qui ne durent que quelques heures, et pour des espaces où la ventilation est chaque jour abondamment établie avant et après les séances.

42). *Facilité de faire varier et de régulariser les volumes d'air évacués.* — Outre la restriction, à peu près permanente, qui avait été apportée à la section des passages de l'air évacué par les galeries souterraines, on s'était réservé les moyens de faire varier à volonté et dans le cours d'une même séance les volumes d'air évacués en manœuvrant les trois registres, dont il a été parlé au n° 14, ou en faisant activer ou modérer le feu de la cheminée d'appel.

A l'inverse, en maintenant constante l'ouverture des registres et en veillant avec soin au maintien régulier du feu, on a pu contenir l'évacuation dans les limites voulues.

Pour ne pas multiplier les tableaux de chiffres, nous ne donnerons que quelques exemples de la régularité qu'on a pu obtenir dans le courant du mois de février où la température extérieure moyenne à midi était de 2°,44.

Observations des volumes d'air évacués de la salle en février 1870.

5 FÉVRIER.		7 FÉVRIER.		8 FÉVRIER.		9 FÉVRIER.	
Heures des observations.	Volumes évacués par heure de la salle.	Heures des observations.	Volumes évacués par heure de la salle.	Heures des observations.	Volumes évacués par heure de la salle.	Heures des observations.	Volumes évacués par heure de la salle.
	mc		mc		mc		mc
2h 43' à 3h 16'	16 644	2h 2' à 2h 27'	16 644	2h 1' à 2h 57'	15 384	2h 16' à 2h 27'	19 894
3 16 à 3 51	17 539	2 17 à 2 59	15 782	2 57 à 3 30	13 362	2 27 à 2 41	17 639
3 51 à 4 34	15 185	2 59 à 3 36	14 887	3 30 à 4 7	13 295	2 41 à 3 16	19 197
4 34 à 5 16	14 622	3 36 à 4 36	12 599	4 7 à 4 40	13 362	4 54 à 5 11	18 191
5 16 à 5 51	14 356	4 36 à 5 3	15 428	4 40 à 5 5	13 130	5 13 à 5 42	16 876
				5 5 à 5 30	14 323		
Moyennes....	15 469		14 668		13 804		18 419

L'on voit, par ces résultats, que, malgré les influences extérieures diverses qui peuvent agir, telles que l'activité du foyer d'ap-

pel, les variations de la température extérieure, etc., il a toujours été possible, dans une même journée, de limiter suffisamment les variations d'activité de la ventilation, de même qu'on a vu plus haut qu'on pouvait en accroître ou en diminuer les effets, selon le besoin ou à volonté, entre des limites très-étendues.

43). *Ventilation de printemps et d'été.* — Nous n'avons jusqu'ici parlé que des résultats obtenus pour le chauffage et la ventilation pendant la saison d'hiver. Il n'était pas moins important de constater si, dans la saison plus douce du printemps et dans celle des chaleurs de l'été, il était possible de concilier un renouvellement abondant de l'air avec une modération convenable de la température intérieure de la salle pendant les séances les plus agitées et qui attiraient un public plus nombreux et, si enfin on pouvait soustraire les représentants du pays, pendant leurs laborieux débats, à ce malaise indéfinissable, qui résulte, non-seulement d'une chaleur excessive, mais surtout de l'altération de l'air.

Nous allons montrer dans quelles limites ce but important a été atteint.

44). *Influence des saisons et des températures extérieures sur les consommations de combustible.* —Les variations de température que produisent naturellement les saisons et celles qui surviennent dans le courant d'un même mois, ont sur les consommations de combustible, nécessaires pour assurer le service simultané du chauffage de la ventilation, des influences considérables et parfois opposées qu'il est d'abord utile de signaler.

Ainsi, pendant l'hiver et toutes les fois que la température extérieure descend à peu près à zéro ou plus bas, le chauffage doit avoir une activité plus ou moins grande, tandis que l'excès de la température intérieure de la salle et de ses dépendances sur celle de l'extérieur, suffisant alors pour assurer à l'appel l'énergie nécessaire, il devient inutile de chauffer la cheminée d'évacuation. C'est ce qui est arrivé en janvier pendant six jours où la température moyenne extérieure à midi était inférieure à zéro, en février, pendant dix-huit jours, en mars pendant dix, et en

avril pendant douze, où la température extérieure était en moyenne de 5°,2.

Quoique ce résultat fût parfaitement conforme aux règles générales que nous avions déduites de nombreuses observations, notre attention ne s'est portée sur ce point, quant aux consommations de combustible à faire dans la cheminée d'appel, que vers la fin de janvier, époque où le service nous parut bien assuré sous tous les rapports, et jusqu'à cette date on avait laissé donner au foyer d'appel plus d'activité qu'il n'était nécessaire.

D'après les résultats obtenus, la consommation totale pour les deux services dans les mois de décembre, janvier et février, peut être estimée à 650 kilos ou 790 kilos par jour.

A mesure que la température extérieure s'élève, la consommation pour le chauffage diminue rapidement, mais, à l'inverse, celle qui est nécessaire pour l'appel augmente. En mars et en avril, la première diminuant plus que la seconde n'augmente, la consommation totale est moindre. Elle s'est abaissée en mars à 322 kilos par jour, et en avril, où elle a atteint son minimum, à 248 kilos.

En mai, il n'y a eu que trois séances de la chambre, et l'on n'a pu établir de comparaison régulière. Mais en juin, l'élévation de la température extérieure a obligé à donner au foyer d'appel une grande activité, et cependant l'on a été conduit à chauffer encore un peu l'air nouveau introduit dans la salle, parce que, avant d'y pénétrer, il circulait dans des conduits souterrains, où il se rafraîchissait trop.

Il en est résulté que, pour ce mois, où la température moyenne extérieure, à midi, a été d'environ 23°, la consommation totale de combustible par jour s'est élevée à 653 kilos de houille, à peu près comme en décembre et janvier; mais les 0.94 de cette consommation étaient employés à produire l'appel.

Enfin, au mois de juillet, les conduits souterrains s'étant un peu échauffés par la circulation continue de l'air, le chauffage a été excessivement réduit; tandis que la consommation de la cheminée d'appel a été accrue dans des proportions énormes, et que la consommation moyenne totale par jour s'est élevée pour ce mois à 1326 kilos; c'est-à-dire au double environ de celle des mois d'hiver pour le chauffage et la ventilation.

Ce résultat, en apparence singulier, n'a rien qui doive sur-

prendre; attendu que la température moyenne du mois de juillet, à midi, ayant été de 25°,5, il a fallu échauffer l'air à évacuer par la cheminée à 50 ou 55°, à l'aide d'un foyer supplémentaire, pour obtenir dans cette cheminée l'excès de 20 ou 25°, nécessaire à l'énergie de l'appel, et que la vitesse d'évacuation ne croît, comme on le sait, que proportionnellement à la racine carrée de cet excès.

La moyenne générale des consommations, tant pour le chauffage que pour la ventilation, pendant les sept mois où le service a pu être considéré comme bien réglé, s'est élevée à 669 kilos de houille par jour, l'allumage et l'alimentation des foyers durant en général dix heures par jour.

45). *Règle pratique à déduire des observations précédentes.* — Pour permettre de tirer des résultats que l'on vient de discuter une règle que l'on puisse appliquer dans des cas analogues, nous en avons ramené les chiffres à ceux qui correspondraient à une capacité normale 1000^{mc}, dans laquelle l'air serait renouvelé 1,5 à 2 fois par heure. Il a suffi, à cet effet, de diviser la consommation totale par jour, par la capacité de l'ensemble des locaux chauffés et ventilés, qui est de 20342^{mc}.

Tous les résultats et les données de cette discussion sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau des consommations de combustible faites au Corps législatif pour les services du chauffage et de la ventilation.

MOIS.	NOMBRE de jours de séance.	TEMPÉRATURE extérieure A MIDI.	EXCÈS de la température d'appel sur la température extérieure.	CONSOMMATIONS DU COMBUSTIBLE — POUR LE CHAUFFAGE — TOTALE.	CONSOMMATIONS DU COMBUSTIBLE — POUR LE CHAUFFAGE — par jour.	CONSOMMATIONS DU COMBUSTIBLE — POUR LA VENTILATION — TOTALE.	CONSOMMATIONS DU COMBUSTIBLE — POUR LA VENTILATION — par jour.	TOTALE par jour.	Pour 1000mc de capacité et par jour.
		°	°	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.
Décembre..	31	+ 3.91	22.2	19.605	632	» (1)	»	632	31.0
Janvier....	31	5.19	19.0	19.400	626	» (1)	»	626	30.7
Février. ..	24	2.44	17.1	18.409	767	485	20	787	37.1
Mars.	31	6.47	13.3	11.441	369	415	13	382	18.6
Avril.	19	13.50	25.0	2.810	97	4.400	153	248	12.2
Mai.	néant (2).	»	»	»	»	»	»	»	»
Juin......	25	23.10	25.5	990	40	15.340	613	653	49.8
Juillet. ...	18	25.5	29.2	125	6	23.845	1.326	1332	65.1

(1) Pendant les mois de décembre et de janvier où la température moyenne, à midi, a varié de + 4° à 5°, le foyer d'appel n'aurait pas dû être allumé, et la consommation totale n'aurait été alors que de 632 kil. et de 626 kil. pour le chauffage seulement, comme on l'indique ici.

(2) En mai il n'y a eu que trois séances.

46). *Observations relatives à des journées de printemps ou d'été de températures extérieures différentes.* — Nous venons de faire connaître l'ensemble des résultats qui mettent en évidence l'influence des saisons et des températures extérieures pendant un même mois; mais il ne sera pas inutile de signaler aussi les effets constatés pendant une série de jours où les températures étaient à peu près les mêmes, mais différentes d'une série ou d'un mois à l'autre.

Nous aurons ainsi l'occasion de faire voir qu'on a pu, sans difficulté et par la simple observation de la marche du thermomètre et des anémomètres, parvenir à établir dans la salle et dans toutes les dépendances une uniformité remarquable de température, et dans les journées les plus chaudes de l'été, non-seulement s'opposer à l'accroissement excessif et si incommode de la température, mais encore l'y maintenir toujours à deux ou trois degrés au-dessous de celle de l'air extérieur, sansrecourir à aucun moyen ou appareil extérieur.

Pour cette discussion, nous extrairons successivement des rapports journaliers les résultats suivants :

Températures observées pendant les journées de mai 1870 *où la température extérieure moyenne, entre* 2h *et* 6h, *a été de* 5°,6 *à* 5°,1.

DATES. MARS.	TEMPÉRATURES extérieure. 2h.	extérieure. fin.	de l'air introduit. 2h.	de l'air introduit. fin.	de la salle. 2h.	de la salle. fin.	Accroissement pendant la séance.
	°	°	°	°	°	°	
7	4.1	5.0	22.0	22.0	18.0	21.0	+ 3.0
8	4.6	3.0	22.5	22.1	18.4	21.3	2.9
9	7.0	6.0	22.1	21.0	18.4	22.0	3.6
10	5.3	5.0	22.5	22.0	18.5	21.2	2.7
11	8.5	6.7	22.0	22.0	18.5	21.5	3.0
21	9.0	9.0	21.0	21.3	18.0	21.3	3.3
23	4.0	4.0	22.0	21.5	18.0	21.7	3.7
24	5.5	5.5	22.0	21.5	18.1	20.0	1.9
25	6.5	6.0	22 0	22.0	17.9	20.2	2.3
26	5.5	5.1	22.0	22.0	17.9	19.9	2.0
28	3.0	2.6	22.0	23.0	17.7	19.8	2.1
29	4.5	4.0	22.0	21.5	18.0	21.1	3.1
30	4.0	4 3	22.0	22.1	18.2	21.4	3.2
Moyennes...	5.6	5.1				21.0	+ 2.8

Il résulte de ce tableau que, dans les journées de mars, où la température dans le milieu du jour a été de 5 à 6°, c'est-à-dire la température moyenne de l'hiver, la température de l'air admis a été en moyenne de 21 à 22°; celle de la salle, à l'ouverture des séances, de 18°; à la fin, de 20 à 21°; et que pendant la durée des séances elle n'a augmenté, du commencement à la fin, que de 2°,8 en moyenne.

Températures observées au mois d'avril 1870 *pendant les journées où la température extérieure, de* 2 *heures à* 6 *heures, a varié entre* 12°,5 *et* 16°,9.

DATES. AVRIL.	TEMPÉRATURES						Augmentation de température.
	extérieure.		de l'air introduit.		Salle.		
	2h.	fin.	2h.	fin.	2h.	fin.	
	°	°	°	°	°	°	°
4	12.5	13.0	21.5	20.0	17 9	22.0	4.3
5	13.6	13.0	19.5	19.0	18.2	22.4	4.2
6	14.0	15.0	20.0	20.0	18.4	21.4	3.0
7	16.5	15.9	18.5	19.0	18.7	21.1	2.4
8	16.9	16.4	18.0	20.5	18.1	21.2	3.1
9	14.0	14.2	19.5	20.3	18.2	21.3	3.1
11	14.0	13.8	19.9	20.0	17.8	20.7	2.9
12	13.5	13.2	19.2	20.5	18.0	20.8	2.8
15	»	»	»	»	»	»	»
Moyennes...	11.4	14.3	19.5	19.9	18.2	21.3	3.6

Avril. — Il résulte de ce tableau que, pendant les journées d'avril, où la température extérieure a été dans le milieu du jour de 14°, la température de l'air admis dans la salle a été en moyenne de 19°,7; celle de la salle des séances, au commencement, de 18°,2; à la fin, de 21°,3, et n'a augmenté en moyenne que de 3°,6.

Températures et résultats observés pendant les journées du mois de mai 1870 où la température extérieure a été de 17° à 18°5 entre 2 heures et 6 heures.

DATES.	TEMPÉRATURES						Volume évacué en 1^h.	Volume introduit.	Rapport.	Charbon brûlé.	
	Extérieure.		Introduction.		Salle.						
MAI.	2^h.	fin.	2^h.	fin.	2^h.	fin.				Introduction.	Évacuation. 7^h.
	o	o	o	o	o	o	mc.	mc.	o	kil.	kil.
23	18.5	18.5	19.0	20.1	21.2	23.0	9.893	10.213	1.03	110	560
24	17.0	17.0	20.0	20·9	20.1	22.5	8.654	10.613	1.23	270	440
27	18.5	18.8	20.2	21.2	20.0	22.6	10.447	11.613	1.11	210'	560
Moyennes.	18.0	18.1	19.7	20.7	20.4	22.2			1.12	197	520

Observations. — Pendant ces journées de température très-modérée à l'extérieur, celle de 17°, dans la salle, aurait été trouvée trop basse, et il a été nécessaire d'allumer un peu les calorifères pour amener l'air introduit à 19 ou 20, comme on l'a reconnu nécessaire l'hiver.

Le mouvement de l'air dans la colonne montante a été alors très-facile, et le volume introduit a été, comme précédemment, un peu supérieur à celui qui était évacué, de sorte qu'il y a eu, comme en hiver, des sorties d'air de la salle plutôt que des rentrées.

La température de l'air admis a été en moyenne de 20°,2; celle de la salle des séances a été au commencement, de 20°,4, à la fin, de 22°,4, et n'a augmenté que de 2°,0.

OBSERVATIONS RELATIVES AUX TEMPÉRATURES EXTÉRIEURES MODÉRÉES DE L'ÉTÉ EN JUIN ET JUILLET.

Températures observées pendant les journées de températures modérées de 20° à 23°,5 l'extérieur.

DATES. JUIN.	TEMPÉRATURES					
	Extérieure.		Introduction.		De la salle.	
	2h.	fin.	2h.	fin.	2h.	fin.
	°	°	°	°	°	°
2	20.5	21.4	20.5	21.0	20.0	22.5
3	22.0	21.9	20.6	20.5	20.8	23.3
4	22.0	22.5	21.0	21.2	21.0	23 3
7	21.9	22.0	21.3	21.6	20.0	22.2
8	21.0	20 5	21.0	20.5	21.0	22.8
9	22.0	22.9	21.0	21.1	20.8	23.8
10	21.0	21.5	21.0	21.0	20.5	22.0
24	21.5	19.0	20.5	19.0	22.8	24.7
25	18.1	18.0	20.0	20.2	22.4	24.0
27	19.5	19.0	20.1	21.2	21.8	24.1
28	21.0	21.0	21.0	20.8	21.7	23.8
29	22.5	23.0	21.0	21.0	22.0	24.0
30	23.5	20.0	21.0	20.5	21.5	23.9
Moyennes.	21.3	21.0	21.5	20.7	21.2	24.9

Juin. — Conséquence du tableau précédent. — On fera remarquer que, pendant ces journées de juin où la température extérieure a été de 21°,3 à 21°,0 pendant les séances, il a été nécessaire d'échauffer l'air à introduire pour lui donner la température moyenne de 21° reconnue nécessaire. Cela tient à ce qu'avant d'arriver à la cheminée d'introduction, il circulait dans des galeries souterraines et s'y refroidissait.

La température moyenne de la salle a été, au commencement de la séance, de 21°,2, à la fin, de 24°,9. — Elle n'a donc augmenté que de 3°,7.

Observations sur les impressions personnelles. — Dans cette séance d'été comme dans celle d'hiver, les impressions et les observa-

tions personnelles de MM. les Députés ont été souvent contradictoires.

Ainsi, le 23 juin, deux Députés ont signalé la vivacité du courant d'air, tandis que M. le Président demandait qu'on activât la ventilation.

Le 30, quelques Députés se sont plaints de la chaleur, alors que la température intérieure était comprise, pendant toute la séance, entre 21°,5 et 23°,9, celle de l'air extérieur ayant varié de 23°,5 à 20°,0.

Ces contradictions, qui se produisent souvent et qui sont faciles à comprendre, montrent la nécessité d'établir une règle de service et de ne pas s'en départir sous l'influence d'impressions personnelles.

47). *Observation relative à la ventilation.* — L'activité de l'appel a notablement varié pendant la durée des journées portées au tableau précédent.

Du 2 au 10, la température extérieure ayant été assez modérée le foyer de la cheminée d'appel n'a consommé en moyenne que 418 kilos de houille par jour, et le volume d'air évacué correspondant a été d'environ 8035^{mc} seulement par heure.

Après le 10 et jusqu'au 23, la température extérieure s'étant élevée à plus de 25°, l'on a été obligé d'activer l'appel, comme on le verra au tableau relatif à ces jours de température élevée; puis à partir du 24, l'air extérieur étant revenu à 20° environ, l'on a continué au feu de l'appel la même activité, et il a été consommé au foyer de la cheminée d'appel, en moyenne, du 24 au 30, 590 kilos de houille, ce qui a correspondu à une évacuation moyenne de 13208^{mc} par heure.

Températures observées dans la salle pendant les journées de chaleur extérieure modérée de juillet 1870.

DATES. JUILLET.	TEMPÉRATURES					
	Extérieure.		De l'air introduit.		De la salle.	
	2h.	à la fin de la séance.	2h.	à la fin de la séance.	2h.	à la fin de la séance.
	o	o	o	o	o	o
1	21.0	17.0	20.5	21.1	21.8	23.6
2	19.1	19.0	20.0	19.5	21.0	23.7
4	23.5	22.8	21.0	20.5	21.8	23.6
8	26.0	24.5	24.6	21.8	24.4	26.0
12	24.0	24 0	23.0	22.0	24.0	25.5
13	26.0	23.0	19.8	19.8	23.5	25.0
14	21.5	23.8	21.0	21.2	23.1	25.0
16	25.0	24.0	22.0	22.2	24.4	25.5
17	22.0	23.5	21.5	21.5	23.0	23.0
18	24.0	24.0	21.0	21.6	23.4	25.0
Moyennes.	23.2	22.6	21.4	21.1	23.0	22.9

Conséquence du tableau précédent. — Il résulte de ces observations relatives aux journées du mois de juillet où la température extérieure de l'air, entre 2 heures et 6 heures du soir, a été en moyenne de 23°,2 à 22°,6, que celle de l'air introduit a été maintenue à 21°,4 et 21°,1, et la température intérieure de la salle, depuis le commencement jusqu'à la fin des séances entre 23°,0 et 22°,9; c'est-à-dire à peu près invariable et égale à celle de l'air extérieur.

48). *Résultats de la ventilation d'été pendant les journées les plus chaudes.* — Les effets à produire et les circonstances du mouvement de l'air dans ces journées d'été étant notablement différents des conditions qu'offraient le printemps, l'automne et l'hiver, nous avons extrait, des rapports journaliers, les données et les résultats observés pendant les journées les plus chaudes.

Le premier des tableaux suivants est relatif aux journées du mois de juin, où la température extérieure, entre 2 heures et 6 heures, a été de 28 à 30°.

Le second est relatif aux journées du mois de juillet, où la température moyenne observée au nord était de 27°,7.

Journées chaudes du mois de juin 1870.

DATES.	SALLE.						TRIBUNES.		CHEMINÉE D'ÉVACUATION.	
	A l'ouverture de la séance.			A la fin de la séance.			A l'ouverture des séances.	A la fin des séances.	Température intérieure.	EXCÈS sur la température extérieure.
	TEMPÉRATURES		Différence en moins.	TEMPÉRATURES		Différence en moins.	Différence en moins.	Différence en moins.		
JUIN.	Extérieure.	De la salle.		Extérieure.	De la salle.					
14	27°.8	21°.4	— 6°.4	29°.0	23°.6	— 5°.3	— 5°.2	— 2°.1	50° à 55	27°.8 à 26°.0
15	26.5	21.8	— 4.7	28.5	24.6	— 3.9	— 4.6	— 5.9	55 à 59	28.5 à 30.5
16	29.5	23.0	— 6.5	31.2	24.3	— 6.7	— 6.0	— 6.6	58 à 56	28.5 à 24.8
22	27.5	23.5	— 4.0	29.0	25.1	— 3.9	— 3.9	— 4.3	58 à 59	30.5 à 30.0
23	29.2	24.5	— 4.7	31.2	26.1	— 5.1	— 4.5	— 4.1	53 à 55	23.3 à 23.8
Moyennes.	28.1	»	— 5.3	29.7	»	— 4.9	— 4.8	— 4.4	»	27.0 à 28.0

Il résulte de ces observations, que les températures intérieures ont été inférieures aux températures extérieures, en moyenne

dans la salle. . . { à l'ouverture des séances, de. . 5°,3
à la fin des séances, de. . . . . 4 ,9

dans les tribunes { à l'ouverture des séances, de . 4 ,8
à la fin des séances, de. . . . . 4 ,4

Ces résultats ont été obtenus en maintenant dans la cheminée d'appel un excès de 27 à 28° sur la température extérieure.

TEMPÉRATURES

observées pendant les journées les plus chaudes de la session de 1870, aux heures des séances.

EMPLACEMENTS.	5 JUILLET. A l'ouverture. 2h.	(moy.)	5 JUILLET. A la fin. 6h 30'.	(moy.)	6 JUILLET. A l'ouverture. 2h.	(moy.)	6 JUILLET. A la fin. 6h 30'.	(moy.)	7 JUILLET. A l'ouverture. 2h.	(moy.)	7 JUILLET. A la fin. 6h 20'.	(moy.)
Extérieur, au nord	28.0		30.5		26.5		29.5		27.0		29.0	
Salle. — Bureau du Président	23.0	23.0	25.0	24	24.2	24	25.3	25.3	23.5	25.6	25.6	
Salle. — Planum	23.1		25.2		24.1		25.5		23.7			
Salle. — Chemin intermédiaire	23.1		25.2		24.0		25.5		23.6			
Salle. — Pourtour	22.9		24.8		23.9		25.0		23.5		25.5	
Salle. — Tribunes. Hautes	24.2	24.0	25.4	25.5	25.2	25.1	26.2	26.1	23.6	23.6	26.9	26.9
Salle. — Tribunes. Basses	24.0		25.4		25.0		26.0		23.6		26.9	
Couloirs	23.0		23.5		23.1		23.3		23.0		24.0	
Salons. — Casimir Périer	23.0		23.5		23.1		23.3		23.0		24.0	
Salons. — Du trône	23.0		23.5		23.1		23.3		23.6		24.2	
Salons. — Des distributions	23.1		23.2		23.1		23.3		23.6		24.1	
Salons. — Des conférences	23.0		23.2		24.0		24.1		23.5		24.0	
Salons. — De la buvette	25.0		24.0		24.6		24.5		25.0		25.0	
A l'entrée de la chambre de mélange	19.5		19.5		19.1		19.5		19.8		19.9	
Au haut de la cheminée. — D'air nouveau de la salle	24.0		25.6		24.6		25.3		26.0		26.0	
Au haut de la cheminée. — D'air nouveau de la salle des conférences	27.0		27.0		26.0		26.6		27.0		27.0	
Au haut de la cheminée. — D'évacuation	56.0		59.5		58.0		59.0		58.0		59.5	

Températures observées pendant les journées les plus chaudes de la session de 1870, aux heures des séances. (*Suite.*)

EMPLACEMENTS.	11 JUILLET. A l'ouverture. 2^h.	11 JUILLET. A la fin. 6^h 30′.	15 JUILLET. A l'ouverture. 1^h.	15 JUILLET. A la fin. 5^h 30′.	19 JUILLET. A l'ouverture. 2^h.	19 JUILLET. A la fin. 6^h 30′.	20 JUILLET. A l'ouverture. 2^h.	20 JUILLET. A la fin. 6^h 30′.	21 JUILLET. A l'ouverture. 2^h.	21 JUILLET. A la fin. 5^h.
Extérieur, au nord	29.2	27.0	27.5	29.0	27.0	28.5	28.0	28.5	28.0	29.5
Salle. Bureau du Président	24.2	26.0	23.9	26.5	25.3	25.9	24.0	25.6	24.2	25.8
Salle. Planum	24.6	26.1	24.0 (23.9)	26.8	23.6	26.0	24.1	25.7	24.2	25.9 (25.8)
Salle. Chemin intermédiaire	24.6 (24.5)	26.3 (26.0)	24.0	26.8 (26.6)	23.6 (23.9)	26.0 (25.9)	24.2 (24.1)	25.8 (25.7)	24.1 (24.1)	25.8
Salle. Pourtour	24.5	23.8	23.9	26.5	23.0	25.8	24.0	25.6	24.1	25.6
Salle. Tribunes. Hautes	24.5 (24.5)	27.9 (27.9)	24.8 (24.8)	28.8 (28.7)	23.7 (23.7)	26.7 (26.7)	24.3 (24.2)	26.7 (26.7)	24.2 (24.2)	26.5 (26.5)
Salle. Tribunes. Basses	24.5	27.8	24.8	28.7	23.7	26.7	24.2	26.7	24.3	26.5
Couloir	23.6	24.0	23.0	24.0	23.0	23.2	23.5	24.0	23.5	24.0
Salons. Casimir Périer	23.6	24.0	23 0	24.0	23.0	23.2	23.5	24.0	23.5	24.1
Salons. Du trône	23.7	24.2	23.0	24.0	23.0	23.2	23.5	24.1	23.5	24.2
Salons. Des distributions	23.6	24.5	23.0	24.0	23.0	23.2	23.5	24.0	23.5	24.1
Salons. Des conférences	24.0	24.5	23.5	25.0	23.2	24.0	23.5	24.2	24.0	24.1
Salons. De la buvette	24.0	25.0	24.0	24.6	24.5	24.5	24.0	24.2	24.6	24.6
A l'entrée de la chambre de mélange	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	21.0	21.0	20.5	20.5
Au haut de la cheminée. D'air nouveau de la salle	24.0	22.0	22.0	23.0	22.5	23.5	23.0	22.5	23.0	23.5
Au haut de la cheminée. D'air nouveau de la salle des conférences	26.0	26.0	23.8	24.0	25.0	25 0	24.0	24.5	24.6	24.6
Au haut de la cheminée. D'évacuation	59.0	59.8	56.0	65.0	59.8	59.8	59.0	59.9	59.0	59.0

Les valeurs entre parenthèses sont les moyennes imprimées en accolade pour les groupes de la Salle (Bureau du Président à Pourtour) et des Tribunes.

Les résultats consignés dans le tableau précédent peuvent se résumer dans les suivants :

Différences des températures moyennes intérieures de la salle aux températures extérieures.

DATES. — JUILLET.	A l'ouverture de la séance.		A la fin de la séance.	
	Température extérieure.	Différence en moins.	Température extérieure.	Différence en moins.
	°	°	°	°
5	28.0	— 5.0	30.5	— 5.5
6	26.5	— 2.5	28.5	— 3.2
7	27.0	— 3.4	29.0	»
11	29.2	— 4.7	27.0	— 1.0
15	27.5	— 3.6	29.0	— 2.4
19	27.0	— 3.1	28.5	— 2.6
20	28.0	— 3.9	28.5	— 2.8
21	28.0	— 3.2	29.5	— 3.7
Moyennes..	27.7	— 3.7	28.6	— 3.0

Différences des températures moyennes intérieures des tribunes aux températures extérieures.

DATES. — JUILLET.	A l'ouverture de la séance.		A la fin de la séance.	
	Température extérieure.	Différence.	Température extérieure.	Différence.
	°	°	°	°
5	28.0	— 3.9	30.5	— 5.0
6	26.5	— 1.4	28.5	— 2.4
7	27.0	— 3.4	29.0	— 2.1
11	29.2	— 4.7	27.0	— 0.9
15	27.6	— 2.7	29.0	— 0.3
19	27.0	— 3.3	28.5	— 1.8
20	28.0	— 3.8	28.5	— 1.8
21	28.0	— 3.8	29.5	— 3.0
Moyennes..	27.7	— 3.3	28.6	— 2.0

49) *Conséquences des observations faites pendant les journées les*

plus chaudes de la session de 1870. — De l'ensemble des résultats précédents il suit que, pendant les journées les plus chaudes de juillet, la température de la salle a été en moyenne inférieure à la température extérieure, à l'ouverture des séances, de 3°,7; à la fin des séances, de 4^h,30 environ de durée, de 3°,0; que, dans les tribunes même, la température intérieure a été en moyenne inférieure à la température extérieure, à l'ouverture de séances, de 5°,3, à la fin des séances, de 2°,0.

Il y a lieu de faire remarquer que les séances du mois de juillet ayant attiré une affluence exceptionnelle de public, la salle était complétement pleine et contenait près de mille personnes.

50). *Salons et dépendances de la salle.* — Quant à ces locaux, où le nombre des personnes présentes est toujours assez faible, la température moyenne y a été habituellement de 5 à 6° inférieure à celle de l'air extérieur, même pour la salle des Conférences.

51). *Température de l'air à son entrée dans la chambre de mélange de la salle.* — Dans les journées de température extérieure élevée, l'air, après avoir parcouru les galeries inférieures d'introduction n'avait plus que celle de 20° en moyenne, et comme il était ainsi notablement plus dense que l'air extérieur, son ascension dans la cheminée d'admission, par la seule action de l'appel, éprouvait de la difficulté. Mais, dans cette saison, l'introduction dans la salle de l'air à cette température, relativement basse, aurait donné lieu à des réclamations, et l'on a cru devoir ouvrir les portes ménagées à cet effet à une certaine hauteur dans cette cheminée, et par lesquelles on a ainsi permis l'entrée d'un certain volume d'air nouveau pris dans l'intérieur de l'édifice à une température un peu plus élevée. Cet air, en se mélangeant avec celui de la colonne montante, l'a amené à 22 ou 24°.

Des dispositions analogues me paraissent devoir être recommandées pour la ventilation d'été des salles de spectacle, avec d'autant plus de motifs que les représentations ont lieu à des heures où l'air extérieur est déjà rafraîchi.

52). *Influence des conduits souterrains sur la température de l'air affluent.* — En rapprochant les observations d'été de celles de

l'hiver, on voit que, tandis que dans la saison froide la circulation de l'air extérieur dans les conduits souterrains peut élever sa température de 5° et même de 8°, il se produit l'été un effet inverse, et que l'air extérieur chaud, qui parcourt ces galeries, s'y rafraîchit de 9 à 10°.

Mais il ne serait pas possible de profiter en totalité de ce rafraîchissement, car dans cette saison, alors que la température extérieure est voisine de 30°, il serait imprudent d'introduire de l'air à la température de 20° seulement. Il paraîtrait et serait en réalité beaucoup trop frais.

53). *Observation relative à l'emploi d'un ventilateur pour la saison d'été.* — Il est bien certain que, dans ces conditions exceptionnelles de la température extérieure et par suite de la hauteur considérable de 20 mètres au moins, à laquelle il fallait faire monter l'air extérieur, avant de le répandre dans la salle, l'usage d'un ventilateur puissant aurait été d'un utile secours, si l'on avait tenu à l'introduire à la température de 20°. Mais on voit, par la remarque précédente, que cela n'aurait pas été acceptable et qu'il a été préférable d'ouvrir dans le conduit d'air nouveau les orifices ménagés dans la prévision des besoins de la ventilation d'été, et de se borner à amener l'air à une température inférieure seulement de 4 à 5° à celle de l'air extérieur.

54). *Température de la cheminée d'évacuation dans les journées chaudes de juillet.* — La résistance au mouvement d'ascension de l'air, relativement froid, venant des galeries souterraines dans le conduit d'introduction exigeait nécessairement que l'énergie de l'appel fût augmentée, et à cet effet l'on a été amené à établir dans la cheminée d'évacuation une grille auxiliaire pour y élever suffisamment la température.

La première grille avait une surface de.	1.80
La seconde.	1.20
Total.	3.00

La consommation de charbon qui, pendant les premières journées de juillet, n'était que de 930 kilos environ par jour ou en sept heures, soit de 133 kilos par heure, pour produire une ventilation de 12600 à 13000^{mc} par heure, trouvée suffisante, a

été élevée, à 2182 kilos ou à 317 kilos par heure, pour les journées des 19, 20 et 21 juillet, où la température dans la cheminée d'évacuation a pu être amenée aux degrés suivants :

JUILLET. DATES	5	6	7	11	15	19	20	21	Moyennes
Cheminée. Températures.....	59°.5	59°.0	59°.8	59°.8	65°.0	59°.8	59°.9	59°.6	60°.2
Air extérieur...	30 .5	28 .5	29 .0	27 .0	29 .0	28 .5	28 .5	29 .5	28 .8
Différences.....	29 .0	30 .5	30 .5	32 .0	36 .0	31 .4	31 .4	29 .5	31 .4
	Moyennes........ 31°.4								

Le volume d'air évalué dans ces conditions s'est élevé en moyenne, les 19, 20 et 21 juillet à 18785^{mc} par heure.

On remarquera que les volumes de 18785^{mc} et de 13206^{mc}, évacués par heure sont entre eux comme 1.4 : 1.00, tandis que les racines carrées des quantités de houille consommées par heure, 312 et 133 kilos. sont entre elles comme 1.45 : 1.00, ce qui est d'accord avec les résultats généraux de la théorie et des expériences antérieures.

55). *Effets d'une ventilation de nuit.* — La journée du 23 juin ayant été exceptionnellement chaude et la température extérieure à six heures du soir s'étant élevée à 31°, on a voulu constater l'effet que pourrait produire, sur celle de l'intérieur de la salle, la continuation de la ventilation pendant toute la nuit.

En conséquence, le feu a été continué en brûlant 42^{k},50 de houille par heure dans la cheminée d'évacuation.

Le tableau suivant contient les résultats des observations des températures faites d'heure en heure :

EMPLACEMENTS.	HEURES DES OBSERVATIONS.												
	6 soir.	7	8	9	10	11	12 minuit.	1	2	3	4	5	6
Extérieur	31.0°	29.0°	27.0°	25.0°	23.0°	21.0°	21.0°	20.0°	19.0°	17.0°	16.0°	17.0°	17.2°
Bureau du Président	26.0	25.4	25.0	24.8	24.0	24.0	24.0	23.0	23.0	23.0	23.0	22.8	22.5
Planum	26.1	25.5	25.0	24.7	24.0	24.0	24.0	23.0	23.0	23.0	23.0	22.8	22.5
Pourtour	25.9	25.5	25.0	24.6	23.8	24.0	24.0	23.0	22.8	22.8	22.8	22.7	22.4
Tribunes. Hautes	25.0	26.6	26.0	25.0	24.2	24.0	24.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	22.8
Tribunes. Basses	26.8	26.5	25.8	25.0	24.2	24.0	24.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	22.8
Couloirs	26.2	26.0	25.1	24.8	24.0	24.0	24.0	23.0	23.0	23.0	23.0	22.8	22.5
A l'entrée de la chambre de mélange	20.2	20.0	20.0	19.0	19.0	19.0	19.0	18.5	18.0	17.5	17.5	17.5	17.5
Air nouveau dans la salle	25.0	24.0	23.0	22.0	20.0	20.0	20.0	20.0	19.0	18.0	17.5	17.5	17.5
Cheminée d'évacuation	59.0	58.0	58.0	58.0	56.0	56.0	57.0	57.0	55.0	50.0	50.0	50.0	50.0

L'on voit que la température de la cheminée d'évacuation a été maintenue en moyenne à 55°; que celle de l'air extérieur a baissé pendant la nuit de 31°,0 à 17°,9, ou de 13°,1 ; mais que celle de la salle qui, à 6 heures du soir était en moyenne et presque uniformément de 26°,8, n'est descendue qu'à 22°,3 ou de 3°,7.

L'air affluent dans la salle était à 6 heures du soir à 25° et à 6 heures du matin à 17°,5; c'est-à-dire qu'il n'avait baissé de température que de 9°,5.

D'une autre part, le 23, après la journée très-chaude du 22, où le feu de la cheminée de ventilation avait été, comme à l'ordinaire suspendu à partir de 4 heures du soir, la température de la salle à 6 heures du matin n'était que de 23°,5 en moyenne et de 23° à 3 heures après midi.

Il ne me paraît donc pas nécessaire, dans des cas pareils, où les locaux ne sont pas occupés avec continuité, de prolonger le renouvellement de l'air pendant la nuit, dans la vue de les rafraîchir beaucoup. Il suffit d'allumer le foyer d'appel dès le matin.

On sait d'ailleurs qu'on ne doit pas chercher l'été à obtenir dans la salle une température qui soit de plus de 4 à 5° au-dessous de celle de l'air extérieur. Il en pourrait résulter des inconvénients pour des personnes venant du dehors.

Nécessité d'une surveillance attentive. — Si les moyens de constater la marche de la ventilation sont d'un emploi facile, il n'en est pas moins très-nécessaire qu'une surveillance exacte soit exercée sur tout ce qui pourrait la troubler. Ainsi la clôture des portes, qui permettrait des entrées d'air irrégulières et non prévues, doit être maintenue avec soin, surtout dans la belle saison; sans l'observation de cette prescription, il pourrait arriver que l'action de l'appel, au lieu de s'exercer sur la salle et d'y produire un renouvellement de l'air, déterminât irrégulièrement l'introduction et l'évacuation de l'air extérieur, sans aucun avantage pour sa salubrité.

Ce cas s'est présenté le 5 avril où, par une belle journée de printemps, les gardiens de service aux entrées du public ont laissé ouvertes les portes du couloir circulaire, ce qui a permis à l'air extérieur d'affluer au rez-de-chaussée, puis de passer direc-

tement à la cheminée d'appel qui, cessant alors d'agir sur la salle, n'y déterminait plus ni évacuation ni introduction. L'on s'est de suite ressenti à l'intérieur de la cessation de la ventilation et l'anémomètre qui indique la vitesse de passage dans la cheminée d'introduction s'est arrêté. Dès qu'on s'est aperçu de cet effet, on a veillé à la fermeture des portes et la circulation normale de l'air s'est rétablie. Des ordres sévères ont été donnés par M. l'architecte, pour que cette infraction aux règles prescrites ne se renouvelât pas.

56). En résumé, l'on voit :

Que l'ensemble de l'intérieur du palais du Corps législatif, comprenant :

1° La salle des séances, ses tribunes, les vestibules, les couloirs et les escaliers dont la capacité cubique est de	11354[mc]
2° Huit salons avec leurs galeries de communication présentant une capacité de.	8988
Total.	20342[mc]

dont toutes les parties étaient maintenues en communication permanente par l'absence complète ou par l'ouverture presque continue des portes, a pu être ventilé par un renouvellement complet de l'air produit une fois et demie à deux fois par heure, à l'aide de l'appel déterminé par une seule cheminée ;

2° Que l'énergie de cette ventilation a pu être variée dans des limites très-étendues, selon les saisons et selon les besoins ; en même temps qu'elle a été répartie convenablement aux divers locaux ;

3° Que cette abondante circulation d'air a été obtenue sans qu'à aucune des portes de communication des divers locaux on éprouvât jamais l'action de ces courants d'air que l'on ressentait précédemment et que l'on reproche, avec raison, à d'autres dispositions de ventilation par appel ;

4° Qu'en ce qui concerne en particulier la salle des séances et le salon des conférences, on a presque toujours constaté que

l'ouverture des portes et même de celles des tribunes y déterminait plutôt de légères sorties que des rentrées d'air, ce qui s'accordait d'ailleurs avec les observations directes faites pour la salle sur les volumes d'air introduits ou extraits; les premiers étant souvent supérieurs aux seconds.

Cette conséquence est importante en ce qu'elle montre que des dispositions analogues pourraient être appliquées aux salles de spectacle en comprenant dans l'ensemble des locaux ventilés non-seulement les différentes parties de la salle elle-même, mais encore les corridors, les foyers et la plus grande partie des escaliers;

5° Que pour la saison d'hiver, les calorifères en briques creuses, pourvus de leurs chambres de mélange d'air frais, ont toujours suffi au chauffage, en ne fournissant dans la salle que de l'air à une température que l'on a réglée à 20° environ pendant la durée des séances;

6° Qu'au printemps et par des températures modérées de l'été, il a été facile de maintenir dans la salle celle de 18° à l'ouverture des séances les plus nombreuses, et d'en limiter l'accroissement vers la fin à 2° ou 4° au plus;

7° Qu'en été, pendant les journées les plus chaudes, il a été possible de maintenir la température intérieure de la salle à plus de 3°, et celle des tribunes à 2° ou 3° au-dessous de celle de l'air extérieur;

8° Que ces résultats ont été obtenus par des dispositions simples, à l'aide d'une seule cheminée d'appel pour l'évacuation, sans recourir à l'emploi d'aucun appareil mécanique;

9° Qu'à l'aide d'appareils électriques réunis dans un même cabinet, situé au rez-de-chaussée, dans lequel se trouvent aussi les manœuvres des registres régulateurs, un seul agent peut facilement constater et faire varier, selon les besoins, la marche des températures et celle de la ventilation, et obtenir partout la régularité voulue.

Si ces résultats satisfaisants d'un ensemble aussi vaste d'appareils de chauffage et de ventilation sont dus aux dispositions adoptées par la Commission et aux proportions déduites de travaux antérieurs, le succès en revient aussi, et pour une large part, à

l'habile architecte qui a su trouver, dans un bâtiment ancien et dans des espaces souterrains parfois obstrués par des constructions antérieures, le moyen de satisfaire à toutes les conditions qui lui étaient imposées. Mérite et dévouement rares, dont nous nous faisons un devoir de le remercier au nom de la Commission.

APPENDICE.

Description et proportions des appareils.

SALLE DES SÉANCES.

Extraction de l'air vicié.

Planche 72. *a*, *a*, *a*... *a*, *a*, douze orifices d'appel répartis au planum de la salle, et offrant ensemble, déduction faite des pleins des grilles, une section libre de passage de. . . 2^{mq},03
a' orifice analogue, derrière le bureau du Président.

b, *b*... *b*, *b*, vingt orifices d'appel ménagés dans les gradins et le dessus des marches des escaliers. Section de passage libre. . . . . 3 ,23

c, *c*... *c*, *c*, anciens orifices tubulaires existant sous les banquettes et conservés, mais isolés de l'emplacement des pieds et des jambes, recevant l'air par des grillages latéraux. Section de passage libre. . . . . 2 ,06

d, *d*... *d*, *d*, dix-huit orifices conservés, répartis au pourtour du couloir circulaire, entre les colonnes des tribunes. Section libre. 0 85

e, *e*, deux orifices ménagés dans les tambours d'entrée de la salle pour déverser dans la galerie, sous le couloir du rez-de-chaussée, l'air affluent par les portes ouvertes. Section libre. 1 ,74

Total des orifices pour la salle proprement dite. . . 0^{mq},91

Couloir du rez-de-chaussée derrière la salle et escaliers de tribunes.

f, *f*, *f*... *f*, cinq orifices d'évacuation au niveau du sol de ce couloir, *g*, *g*... *g*, *g*, quatre orifices d'évacuation au bas de ces escaliers. Section libre des neuf orifices.. . . . . 1^{mq},92

Tous les orifices d'évacuation de *a* à *g* inclusivement déversent l'air dans des puits et des galeries qui les conduisent au bas de la cheminée.

Tribunes.

Premier étage. Les panneaux inférieurs des portes de ces tribunes ont été ouverts et remplacés par des grilles offrant actuellement une surface libre de. . . . 1 ,42

Deuxième étage. Les orifices ouverts derrière les gradins présentent une section libre de. . . . . 0 ,97

Les nouvelles tribunes de cet étage ont des orifices offrant une section de.. 0 ,62

Tous ces orifices d'évacuation déversent l'air vicié dans les cages des escaliers des tribunes.

Vestibule d'entrée du public.

h, *h*, *h*, trois orifices d'évacuation dans le vestibule d'entrée du public. Section libre. . . . . 0 ,74

Total des orifices d'évacuation de la salle et ses dépendances.. . . . . 15^{mq},64

Vestibule d'entrée du public.

Entre la porte extérieure d'accès du public et le vestibule par lequel il arrive dans les tribunes, l'on a ménagé un tambour fortement chauffé par une large bouche de chaleur, de sorte que l'ouverture de cette porte extérieure ne peut donner lieu qu'à une introduction d'air chaud.

Admission d'air dans les escaliers des tribunes.

L'air vicié évacué des tribunes, débouchant dans les cages des escaliers et dans le corridor du rez-de-chaussée, avant de gagner les galeries inférieures d'évacuation par les orifices d'appel f, f... et g, g..., il en résultait quelquefois, principalement par les mauvais temps, et quand ces tribunes étaient pleines, un peu de mauvaise odeur dans ce couloir. On y a remédié en laissant ouvertes les portes supérieures des cages d'escaliers qui conduisent aux tribunes du deuxième étage. L'appel général détermine une rentrée d'air chaud venant des autres escaliers et des locaux voisins, toujours fortement chauffés, et cet air, se mêlant avec celui qui vient des tribunes, atténue et fait disparaître toute odeur.

Cabinet de lampisterie.

Le cabinet K affecté à ce service accessoire, et dans lequel se fait le nettoyage et l'allumage d'un grand nombre de lampes, était aussi infecté de mauvaise odeur. Le voisinage de la cheminée d'évacuation a permis de le mettre en communication avec la ventilation générale.

Conduits inférieurs d'évacuation.

Tous les orifices d'évacuation de la salle sont mis en communication avec des conduits collecteurs, dont les uns, existant déjà, ont été utilisés, et dont les autres ont été établis. Ces collecteurs situés à différentes hauteurs ont été reliés, quand cela a été nécessaire, par des puits verticaux.

L'on voit sur la même figure :

1° Le collecteur a_1, a_1... a_1, des orifices a, a, a d'appel du planum, et son puits a'' conduisant au deuxième collecteur a''' du planum et du centre de la salle.

2° Les collecteurs circulaires b_1, b_1... b_1, et leurs puits b'', b''... qui versent l'air dans les collecteurs inférieurs b''' pour le côté droit, et b_1''' pour le côté gauche de la salle.

3° Le collecteur circulaire f_1, f_1... f_1, du couloir extérieur et des escaliers.

Tous ces collecteurs de la salle, des tribunes et des escaliers, dirigent l'air vers deux galeries M et M', qui le versent à la base de la cheminée générale d'évacuation. Deux registres, à axe vertical, servent à régler les passages de l'air appelé et à modérer le volume total, qui doit être évacué de l'ensemble de ces locaux.

Les trois collecteurs a''', b''' et b''', spéciaux pour la salle, avaient été, avec intention, proportionnés très-largement, afin de conserver la facilité de donner, selon les saisons, une énergie plus ou moins grande à la ventilation de la salle proprement dite. Dès les premières expériences de novembre, on a reconnu la nécessité d'en restreindre les passages, d'abord afin de combattre efficacement les rentrées d'air par les portes, et plus tard, pendant la saison, d'hiver pour limiter à 15000^{mc} environ le volume d'air à extraire de la salle et atténuer la sensation de son renouvellement.

Des barrages en planches mobiles ont été, à cet effet, établis en A pour le côté droit, en B pour le planum et en C pour le côté gauche. La section de passage libre qu'ils offrent, pour l'évacuation de l'air vicié de la salle elle-même, est, pour la saison d'hiver, de 0^m.40, et la vitesse moyenne de passage de 1^{mq}.83 en 1''.

Salons dépendants de la salle.

Les dépendances immédiates de la salle des séances sont :

1° Les couloirs d'accès N, N. communiquant avec la salle de la paix et l'antichambre voisin, et clos par des portes battantes, à la fermeture permanente desquelles des gardiens sont préposés.

2° La salle Casimir Périer.

3° La salle du trône.

4° La salle des distributions.

5° Le vestibule de la bibliothèque.

6° La salle des conférences.

Évacuation de l'air vicié.

Pour tous ces locaux, des orifices d'appel sont ménagés au niveau et à fleur du sol, savoir :

6 *i, i... i*, pour le couloir principal. 2 i', i', pour le couloir du côté de la cour.	Section libre.	2^{mq},16
2 *k, k*, pour la salle Casimir Périer		0 ,98
2 *l, l*, pour la salle du trône		0 ,50
2 *m, m*, pour la salle des distributions		0 ,50
1 *n*, pour le vestibule de la bibliothèque		
6 *o, o... o, o*, pour la salle des conférences		1 ,30
		5^{mq},45

Conduits inférieurs d'évacuation.

Tous ces orifices communiquent par des puits verticaux avec de premiers conduits collecteurs inférieurs, qui amènent l'air dans un collecteur général N′, que les conditions locales ont permis de faire passer séparément sous les collecteurs du côté droit et du planum de la salle, et de relever ensuite pour le faire déboucher à côté de la base de la cheminée d'appel, au même niveau que les deux autres M et M′. Ce collecteur N′ a, comme ceux-ci, un registre régulateur.

Pour éviter que les courants qui parcourent les différents branchements des collecteurs ne se contrarient et ne s'annulent même parfois, on a disposé à leurs rencontres des cloisons verticales fixes, en planches, et convenablement inclinées sur leur direction.

La salle de la buvette a été aussi pourvue d'un orifice d'appel.

Cheminée générale d'appel.

Tous les collecteurs d'air vicié viennent, comme on le voit, déboucher près de la base de la cheminée unique d'appel A, qui doit être chauffée de manière que sa température intérieure excède de 20° environ celle de l'air extérieur.

L'action de cette cheminée, dont la hauteur est de 20^{m} et la

section minimum de 7^{mq} est donc constante, et à très-peu près uniforme en tout temps, quand cette précaution est observée, et pour la répartir convenablement entre les divers locaux, d'où il s'agit d'extraire l'air vicié, il suffit d'agir sur les trois registres M', M et N', dont la manœuvre se fait dans une chambre spéciale *o*, où se trouvent réunis tous les appareils et moyens de réglementation du service.

Introduction de l'air nouveau. Salle des séances.

L'air qui doit être introduit dans la salle des séances est pris dans le jardin voisin de la buvette, par une ouverture P de $13^{mq},89$ de section libre de passage. Il arrive directement, d'une part, dans une chambre de mélange de $61^{mc},52$ de capacité environ, où il pénètre sous un registre régulateur Q de $8^{mq},33$ de surface totale (du système Maillard) que l'on élève plus ou moins selon les besoins, et d'autre part sous les quatre calorifères R R spécialement destinés au service de la salle.

L'air qui s'est échauffé en traversant ces calorifères débouche par un orifice muni aussi d'un registre régulateur un peu plus bas que l'air froid qui arrive directement de l'extérieur et se mêle nécessairement avec celui-ci.

Conduit vertical d'air nouveau.

Cet air chaud ou frais, selon les saisons, s'élève dans un conduit vertical S dont la section verticale a $8^{mq},33$.

En hiver, sa température pendant les séances ne doit pas excéder 19 à 20°. En été, il sera un peu rafraîchi par son passage à travers les voûtes du grand escalier.

Parvenu à hauteur du plafond de la salle, cet air se répartit et s'introduit de la manière suivante :

Un premier conduit de distribution T en dirige une partie au-dessus de la corniche et le fait pénétrer dans la salle, sur tout le pourtout de cette corniche, à 18^{m} environ au-dessus du planum.

Un second conduit U en amène une partie dans un canal U' ménagé dans les combles au proscénium, au-dessus du fond de la salle et du bureau.

Une troisième conduit V, avec des branchements rayonnant vers le centre de la voûte, dirige le reste de l'air derrière dix des caissons du premier rang, et neuf des caissons du second rang de la voûte, dont les angles ont été ouverts à cet effet.

L'ensemble de tous les orifices d'entrée offre une section totale de passage libre de $17^{mq},94$, ce qui pour l'admission d'un volume de 30000^{mc} par heure, ou de $8^{mc},333$ en $1''$, correspondrait à une vitesse de $0^{m},45$ environ en $1''$. Mais, comme l'expérience a montré que, pour la saison d'hier, il suffit d'introduire à peu près 15000^{mc} par heure, la vitesse moyenne réelle n'est que de $0^{m},25$ en $1''$, et par conséquent rapidement éteinte aussitôt après que l'air a débouché dans la salle.

Salons et dépendances.

Les seuls salons où MM. les députés et les rédacteurs séjournent pour lire ou pour écrire sont la salle du trône et la salle des conférences. Là aussi, il était convenable de ne laisser affluer l'air nouveau que le plus loin possible des personnes.

Dans le premier de ces locaux, il arrive de la chambre de mélange des deux calorifères X du groupe A, par un conduit vertical Y, qui débouche au sommet d'une des fenêtres simulées.

Les dispositions locales ont permis d'établir des conduits semblables Y″, Y′ pour la salle des distributions et pour le vestibule de la bibliothèque. On y a joint, pour le couloir et pour la salle Casimir Périer, des orifices ZZ.. au niveau du sol, sur les grilles desquels on peut se chauffer les pieds.

Les conduits verticaux, faisant fonction de cheminée, ont un tirage supérieur à celui des orifices placés au niveau du sol, et il convient de régler le partage de l'air nouveau, qui se fait entre ces deux séries de passage; mais cela est toujours facile.

Dans la salle des conférences à laquelle un calorifère spécial X′ et une chambre de mélange ont été affectés, l'air afflue par un conduit vertical qui le déverse dans le grenier vitré par lequel cette salle est éclairée. Les orifices d'accès sont placés à 7 à 8^{m} au-dessus du sol, et présentent ensemble une section de passage de $2^{mq},22$.

En admettant que l'air de cette salle, qui a environ 2000^{mc} de

capacité, soit renouvelé 1,50 fois par heure, il faudrait, pour qu'il n'en entrât pas par les portes, y introduire et en extraire directement 3000^{mc} par heure, ou 0^{mc},833 en 1″, ce qui ne correspondrait qu'à une vitesse moyenne de

$$\frac{0^{mc},833}{2^{mq},22} = 0^{m},375 \text{ en } 1'',$$

qui serait facilement éteinte et insensible à une très-petite distance du plafond, comme on s'en est assuré directement à l'aide de la flamme d'une bougie.

Proportions générales adoptées pour les appareils de chauffage.

Les proportions qui, après avoir été adoptées par la Commission, ont été remises à M. l'architecte, pour servir de bases à la rédaction des projets, ont été calculées de la manière suivante par M. Tresca, rapporteur de la sous-Commission.

Appareils de chauffage. Salle des séances et dépendances.

La salle et ses dépendances ont une capacité d'environ 11354^{mc}, l'on a pensé qu'elles pouvaient contenir au plus 1000 personnes. Le chiffre réel ne s'est pas élevé, en 1869, au delà de 782; mais au commencement de 1870, de nouvelles tribunes destinées au public ont été établies et le nombre total des personnes présentes a atteint et dépassé parfois le chiffre de 900.

En admettant un renouvellement d'air de 30^{mc} par heure et par personne, il faudrait introduire 30000^{mc} par heure.

La température la plus basse de l'hiver ne descend jamais à — 20°, et l'air devant être admis à + 20°, il faudrait l'échauffer de 40° au maximum.

Le nombre d'unités de chaleur à lui communiquer peut donc être estimé au plus à

$$30000^{mc} \times 1^{k},25 \times 40^{\circ}, \times 0,24 = 360000 \text{ calories.}$$

Les calorifères qui doivent envoyer directement l'air dans la cheminée d'air chaud peuvent utiliser 0,75 de la chaleur déve-

loppée par le combustible ou 6000^{cal} par kilogramme de houille, La dépense de combustible serait au plus de

$$\frac{360000}{6000} = 60 \text{ kil. par heure.}$$

Surface des grilles des calorifères.

L'expérience montrant qu'on peut brûler 70 kilog. de houille par heure et par mètre carré de grille, on a indiqué aux constructeurs pour la surface totale de grille des quatre calorifères de la salle le chiffre de $\frac{60}{70} = 0^{mq},86$.

Cette proportion est celle qui a été donnée.

Les calorifères ont été ainsi proportionnés pour des cas extrêmes, mais la température moyenne de l'hiver étant de $+5°$ et l'air ne devant être échauffé que de

$20° - 5 = 15°$, la consommation moyenne ne devrait être que $\frac{15}{40} = 0,375$ de la précédente, ou de $60^k \times 0,375 = 22^k,50$ pour un chauffage continu de 24 heures, soit $22^k,50 \times 24 = 540^k$ par jour. Elle s'est effectivement beaucoup rapprochée de ce dernier chiffre en 1870, pendant les mois de janvier, février, mars et avril.

Sections des conduits d'air dans les calorifères.

En admettant que la température de l'air sortant des calorifères n'excède pas 60°, le volume d'air x, pris à la température minimum de $-20°$, serait élevé de 80°, et l'on aurait pour le déterminer la relation approximative

$$30000^{mc} \times 20 = x \times 60 - (30000 - x)\, 20\,;$$

d'où $$x = 30000 \times \frac{40}{80} = 15000^{mc} \text{ en 1 heure,}$$

ou $$4^{mc},167 \text{ en } 1''.$$

Le surplus, ou 15000^{mc} serait fourni par le registre d'air froid.

La section des passages de l'air à chauffer, donnée dans les calorifères de la salle, est :

2 grands calorifères.	$4^{mq},606$
1 petit calorifère.	$1\ ,570$
Total.	$6^{mq},175$

La vitesse moyenne de passage de l'air à travers les briques creuses ne doit donc être en moyenne que de

$$\frac{4^{mc},167}{6\ ,175} = 0^{m},67 \text{ en } 1'',$$

ce qui permet à l'air de s'échauffer suffisamment.

Lorsque le volume d'air à introduire sera réduit à 15000^{mc} environ, ce qui paraît suffire pour son renouvellement dans la salle, et que la température extérieure sera égale à zéro, la relation, qui donnerait le volume d'air à 40° seulement que devraient fournir les calorifères, serait

$$15000 \times 80° = x \times 40° - (15000 - x)\ 20°;$$

d'où $$x = 15000 \times \frac{40}{60} = 10000^{mc} \text{ ou } 2^{mc},778 \text{ en } 1''.$$

Le surplus ou 5000^{mc} à zéro, serait livré par le registre d'air froid.

Le volume qui, dans ce cas, doit traverser les calorifères étant de $2^{mc},778$ en 1″, la vitesse moyenne de passage serait, avec les quatre calorifères, $\frac{2^{mc},778}{6\ ,175} = 0^{m},45$; avec deux grands et un petit calorifère $\frac{2^{mc},778}{5,890} = 0^{m},515$; avec un grand et deux petits calorifères $\frac{2^{mc},778}{3,872} = 0^{m},717$.

On voit que, dans tous les cas, cette vitesse sera facile à obtenir par un chauffage modéré, et que les proportions adoptées seront largement suffisantes.

Proportions des surfaces de chauffe des calorifères au volume de la salle et de ses dépendances.

L'on a vu que le volume total de la salle et de ses dépendances, qu'il s'agissait à la fois de chauffer et de ventiler, était estimé à 11354^{mc}.

La surface des conduits de fumée qui, dans les quatre calorifères, est destinée à absorber une partie de la chaleur que cette fumée a empruntée au combustible est répartie ainsi qu'il suit :

2 grands calorifères.	110^{mq},00
2 petits calorifères.	44 ,44
Soit en tout.	154^{mq},44

Sa proportion au volume des locaux à chauffer est donc de

$$\frac{154^{mq},44}{11,354} = 13^{mq},60 \text{ pour } 1000 \text{ mètres cubes.}$$

La surface intérieure des conduits des briques creuses qui échauffe l'air nouveau à introduire est répartie comme il suit :

2 grands calorifères.	381^{mq},70
2 petits calorifères.	160 ,00
Soit en tout.	541^{mq},70

Sa proportion au cube des espaces à chauffer est de :

$$\frac{541^{mq},70}{11,354} = 47^{mq},71.$$

C'est plus que celle qui convient pour des chauffages par circulation d'eau chaude, laquelle est de 30 à 32^{mq} pour 1000^{mc} d'espace à chauffer.

Ces proportions ont d'ailleurs été toujours suffisantes pour assurer et maintenir une température convenable, de 20° environ, dans la salle et dans ses dépendances avec une ventilation active.

Appareils de chauffage des groupes A *et* B.

Le volume d'air maximum à fournir à ces locaux ayant été fixé à 15000^{mc} par heure, et la température la plus basse de l'hiver n'atteignant pas — 20°, le nombre de calories nécessaires pour l'élever à + 20° a été estimé à

$$15000^{mc} \times 1,25 \times 40 \times 0,24 = 180000 \text{ calories,}$$

et en admettant que les calorifères employés utilisent 0,75 de la chaleur développée par le combustible ou 6000 calories par kilog. de houille, le poids de charbon à brûler a été estimé à

$$\frac{180000}{6000} = 30 \text{ kil. au plus par heure.}$$

En admettant aussi qu'on puisse brûler 70 kil. par heure et par mètre carré de grille, la surface des grilles de ces calorifères devait être ensemble de $\frac{30}{70} = 0^{mq},43$.

Elle est en réalité supérieure pour les trois calorifères de ces groupes.

Les calorifères ont été proportionnés pour les données extrêmes que l'on a admises plus haut ; mais, en réalité, la température moyenne de l'hiver à Paris étant de + 5°, il suffit d'élever la température de l'air de 20° — 5 = 15°, et par conséquent les consommations moyennes de combustible pour les locaux des groupes A et B ne devraient être que de

$$\frac{15}{40} \times 30^{k} = 11^{k},25 \text{ par heure,}$$

ou, pour un chauffage continu de 24 heures, de

$$11,25 \times 24 = 270 \text{ kilog.}$$

La consommation pour le chauffage de la salle dans les mêmes conditions, ayant été estimée à 540^{k} par jour, celle qu'exigerait l'ensemble des locaux chauffés et ventilés serait, par 24 heures de la température moyenne de l'hiver, de

$$540 \times 270 = 810^{k} \text{ par 24 heures.}$$

Les observations recueillies pendant les mois de décembre, janvier et février, où les températures moyennes à midi ont été respectivement égales à

$3°,94$, $5°,19$ $2°,44$,

ont montré que les consommations totales pour le chauffage ne ne se sont élevées qu'à

632^k, 624^k 767^k par 24 heures,

au lieu du chiffre de 810^k indiqué par les appréciations précédentes.

La section des passages de l'air à chauffer, donnée dans les calorifères des groupes A et B, est, comme on l'a dit :

Pour les deux calorifères du groupe A.	$1^{mq},884$
Pour le calorifère du groupe B.	$0\ \ ,785$
	$2^{mq},669$

Le volume d'air à y échauffer ne devant être au maximum que de 7500^{mc} par heure ou de $2^{mc},083$ par seconde, la vitesse de passage n'y serait en moyenne que de

$$\frac{2^{mc},083}{2^{mq},669} = 0^m,78 \text{ en } 1'',$$

ce qui permet à l'air de s'y échauffer suffisamment.

La surface des conduits de fumée qui en absorbent la chaleur dans les calorifères des groupes A et B a été proportionnée ainsi qu'il suit :

Groupe A. Salon Casimir Périer, salle du trône, salle des distributions, galeries, vestibule de la bibliothèque.

Capacité : 6448^{mc}.

Surface des conduits de fumée, $55^{mq},78$, ou $\frac{55^{mq},78}{6,448} = 8^{mq},65$ par mille mètres cubes de capacité.

Surface intérieure des conduits des briques creuses qui échauffent l'air nouveau, $194^{mq},45$ ou $\frac{194^{mq},45}{6,448} = 30^{mq},16$ par mille mètres cubes de capacité.

Ces proportions moindres que celles de la salle suffisent, mais elles sont peut-être un peu strictes.

Groupe B. La salle des conférences et la buvette ont un calorifère particulier pour un espace cubique de 2540^{mc}.

Surface des conduits de fumée, $22^{mq},22$ ou $\frac{22^{mq},22}{2,540} = 8^{mq},76$ par mille mètres cubes de capacité.

Surface intérieure des conduits des briquescreuses, $80^{mq},00$ ou $\frac{80^{mq},00}{2,540} = 31^{mq},49$ par mille mètres cubes de capacité.

Ces proportions sont un peu moindres que pour la salle des séances, mais celle des conférences est en outre chauffée par une large cheminée.

De cette comparaison des proportions des appareils de chauffage en briques creuses avec la capacité de locaux à chauffer et à ventiler il nous semble résulter que, pour des conditions analogues à celles qu'offre le palais du Corps législatif, il conviendrait en général d'adopter les rapports suivants :

Surface des conduits de fumée, 12^{mq} par $1,000^{mc}$ d'espace à chauffer.

Surface intérieure des conduits des briques creuses, $42^{mq},00$.

Ce qui s'accorde aussi avec le rapport que les proportions adoptées pour la fabrication des briques et la construction des calorifères établissent entre la seconde et la première de ces surfaces, et qui est en moyenne égale à 3,5.

Introduction d'air nouveau dans la salle des séances.

Le volume d'air maximum à introduire dans la salle ayant été fixé à 30000^{mc} par heure, et la vitesse moyenne de circulation dans le conduit qui l'amène vers les parties supérieures de la salle paraissant devoir être limitée à $1^{m},00$ en $1''$, la section demandée pour le conduit a été de

$$\frac{30000}{3600 \times 1^{m}} = 8^{mq},33.$$

D'après les dimensions données, elle est en réalité de $9^{mq},21$. Cette section est beaucoup plus que suffisante pour la saison

d'hiver, où l'on a reconnu que le volume d'air à renouveler dans la salle ne devait pas excéder notablement 15000^{mc} par heure. Mais cela ne présente pas d'inconvénient et laisse pour la saison d'été une latitude qu'il est bon de conserver.

Quoique la vitesse de passage de l'air nouveau fixée à $1^m,00$ pour le cas d'un volume maximum de 30000^{mc} soit déjà très-modérée, il a paru convenable de chercher à réduire au plus à moitié celle de l'air à son débouché dans les parties supérieures de la salle, et l'on a demandé à M. l'architecte d'augmenter graduellement les sections des conduits et les orifices d'accès de l'air dans cette salle, de manière qu'ils offrissent au débouché une section double ou de $16^{mq},67$, ce qui, pour le volume de 30000^{mc}, correspondrait à une vitesse de $0^m,50$ en $1''$. Cette section a été, en réalité, portée à $16^{mq},67$.

Il en résulte, comme on l'a dit plus haut, que, quand le volume d'air introduit est réduit à 15000^{mc} environ en une heure ou $4^{mc},167$ en $1''$, la vitesse moyenne d'accès n'est que de $\frac{4^{mc},167}{16^{mq},67} = 0^m,25$ en $1''$, et qu'elle est assez rapidement éteinte pour ne pouvoir produire aucun courant d'air gênant.

Sortie de l'air des locaux ventilés.

L'on a admis, d'après des résultats connus d'observation, que la vitesse de sortie de l'air vicié à extraire pouvait, sans inconvénient, s'élever à $0^m,60$ en $1''$ à son passage par les premiers orifices.

D'après cette donnée, la somme des sections libres, offerte par tous ces orifices, devait, pour la salle et ses dépendances, s'élever, pour l'évacuation de 30000^{mc} par heure, à

$$\frac{30000^{mc}}{3600 \times 0,60} = 13^{mq},88.$$

La section donnée n'a été d'abord que de $10^{mq},09$, mais elle a été augmentée de $1^m,74$ par l'ouverture d'orifices d'appel dans les tambours voisins des portes de la salle, et de $0^{mq},62$ par des orifices affectés à des tribunes postérieurement établies, ce qui l'a portée en tout à $12^{mq},45$.

Le volume d'air à extraire pour la saison d'hiver, n'étant en

réalité que de 15000^{mc} par heure, on voit que ces orifices sont largement suffisants, et que la vitesse moyenne de passage n'y atteint à peine en moyenne que 0^{m},33, surtout dans la salle, attendu que dans le couloir inférieur, elle paraît être notablement plus grande.

Pour assurer la stabilité du mouvement d'évacuation de l'air vicié, il a été demandé que les sections des conduits intermédiaires entre les premiers orifices d'appel présentassent des sections décroissantes jusqu'à la cheminée générale où la vitesse moyenne devait être d'environ 1^{m},80 pour l'évacuation générale maximum, tant de la salle qui y entre pour 30000^{mc} que des groupes A et B, pour lesquels elle pouvait s'élever à 15000^{mc}.

Total 45000^{mc} par heure.

Ces conditions conduisirent à fixer la section de cette cheminée à

$$\frac{45000^{mc}}{3600 \times 1^{m},80} = 6^{mq},95, \text{ dont } \frac{30000^{mc}}{6600 \times 1^{m},20} = 4^{mq},63 \text{ pour}$$

la salle et ses dépendances directes.

Les dimensions qui lui ont été données ont fourni une section de 7^{mq},80 à la base et de 7^{mq},00 au sommet.

Cette cheminée a 20^{m},00 de hauteur.

Une expérience faite le 30 octobre, par une température d'automne, a montré qu'avec un feu suffisamment actif, on pourrait faire évacuer par cette cheminée un volume d'air de 61561^{mc} par heure, ce qui correspondrait au sommet à une vitesse de sortie égale à $\frac{61561^{mc}}{3600 \times 7^{mq}} = 2^{m},44$ en 1″, bien supérieure à celle de 1^{m},80 qu'on peut regarder comme suffisante pour assurer la stabilité du mouvement de sortie de l'air.

L'expérience ayant montré que, même pour la saison d'été, le volume d'air évacué pouvait être réduit à 20000^{mc} environ par heure, la section donnée à cette cheminée est plus grande qu'il n'était alors nécessaire ; mais outre que cela ne présente aucun inconvénient, puisque l'on peut toujours restreindre l'orifice de sortie par un registre, aujourd'hui qu'il est question d'augmenter notablement le nombre des membres de l'assemblée, on doit se féliciter d'avoir adopté, dès l'origine, des proportions très-larges.

Introduction d'air nouveau dans les salons des groupes A *et* B.

La vitesse de l'air, débouchant à l'aval des chambres de mélange, a été supposée de $1^{m},00$ au plus en $1''$, et en conséquence pour la saison où l'on ne devrait pas chauffer, la section totale des passages offerts pour ces groupes devait être au maximum

de $$\frac{15000^{mc}}{3600 \times 1^{m}} = 4^{mq},20.$$

Elle a été en réalité de :

Groupe A.	$5^{mq},83$
Groupe B.	$2\ ,22$
	$8^{mq},05$

Quant aux passages ménagés à travers les calorifères pour l'air qui doit y être chauffé, et que l'on peut estimer à 7500^{m} au plus par heure, leur section, en supposant la même vitesse, a été fixée au minimum à $\frac{7500^{mq}}{3600 \times 1^{m}} = 2^{mq},10.$

En réalité, elle est pour les calorifères :

Du groupe A.	$1^{mq},884$
Du groupe B.	$1\ ,785$
Total.	$2^{mq},669$

et paraît largement suffisante.

Il a été demandé à M. l'architecte de proportionner les sections des conduits de circulation de l'air entre les chambres de mélange et les locaux où il devait affluer, de manière que la vitesse moyenne au débouché n'excédât pas $0^{m},70$ en $1''$, ce qui fixait l'ensemble de ces sections à $\frac{4^{mq},20}{0^{m},70} = 6^{mq},00.$

Dans l'exécution, on a dépassé cette proportion qui est pour

Le groupe A de.	$5^{mq},83$
Le groupe B (salle des conférences). . .	$2\ ,50$
	$8^{mq},33$

de sorte que la vitesse moyenne n'excédât pas $0^{m},50$ en $1''$.

Sortie de l'air des salons des groupes A *et* B.

La vitesse moyenne d'aspiration au passage par les orifices d'évacuation, qui pour ces locaux sont tous au niveau du sol, ayant été fixée à $0^m,70$ en 1″, les sections à donner ont été calculées pour l'évacuation maximum de 15000^{mc} par heure à

$$\frac{15000^{mc}}{3600 = 0^m,70} = 6^{mq},00.$$

En réalité, on leur a donné pour

Le groupe A.	$4^{mq},44$
Le groupe B.	1 30
	$5^{mq},74$

Ce qui a suffi pour assurer partout à l'appel l'énergie nécessaire.

Il a été demandé qu'à partir des orifices d'appel, les sections des conduits de circulation de l'air allassent en diminuant, de façon qu'au débouché, dans la cheminée générale d'appel, la vitesse fût de $1^m,80$ en 1″.

Cette condition conduisait à donner à la base de la cheminée pour l'évacuation de l'air vicié des groupes A et B une section

de.	$2^{mq},32$
qui, jointe à celle de.	4 ,63
nécessaire pour la salle, donne le total de. . . .	$6^{mq},95$

que nous avons indiqué plus haut.

Consommation de combustible pour la ventilation de la salle des séances.

Le volume maximum d'air à évacuer ayant été fixé à 30000^{mc} par heure, et l'expérience montrant que, dans des conditions analogues aux dispositions adoptées, l'on obtient l'évacuation de 800^{mc} par kilogramme de charbon brûlé, la dépense maximum de combustible serait, aux températures moyennes, de

$$\frac{30000^{mc}}{800} = 37^k,50 \text{ par heure.}$$

Mais des observations ont fait voir qu'en hiver il ne paraissait pas convenable de faire évacuer de la salle plus de 15000^{mc} par heure, ce qui réduirait la consommation à 18^{k},75 par heure ou pour 10 heures environ de fonctionnement de l'appel à 187^{k},5.

Les relevés de consommation ont montré que pour les mois d'hiver l'on pouvait se borner très-souvent à laisser agir la ventilation naturelle : que pour ceux de printemps la consommation restait très-inférieure au chiffre prévu ; mais que, dans la saison des grandes chaleurs, elle le dépassait considérablement. La moyenne générale annuelle s'en éloignerait peu.

Salons et dépendances des groupes A *et* B. *Consommation du combustible pour la ventilation de ces locaux.*

Le volume d'air à évacuer a été évalué à 10000^{mc} par heure pour les cas ordinaires, et à 15000^{mc} au maximum. En calculant d'après les mêmes bases que, pour la salle, on trouve que la consommation de combustible à faire par heure pour la ventilation de ces locaux serait $\frac{15000^{mc}}{800} = 19^{k}$.

L'observation a montré que pendant l'hiver une évacuation de 10000^{mc} était largement suffisante dans ces locaux pour y entretenir la salubrité et une uniformité convenable de température.

La consommation normale ne serait donc que de

$$\frac{10000}{880} = 12^{kil},50,$$

ou, pour 10 heures, de 125^{k}.

Ce qui, joint aux 187^{k},05 estimés, nécessaires pour l'évacuation de l'air de la salle, conduirait à une dépense moyenne totale de

$$187^{k},05 + 125^{k}0 = 312^{k},05 \text{ pour 10 heures.}$$

Concentration des appareils de service et d'observations dans un seul cabinet.

La manœuvre des registres régulateurs de l'arrivée d'air chaud et d'air froid pour le conduit d'air nouveau, celle des re-

gistres des galeries d'appel pour la salle et pour les groupes A et B, l'observation des températures dans le conduit d'air nouveau et dans la cheminée d'aspiration et la marche de l'anémomètre, à compteur électrique, qui fait connaître le volume d'air nouveau introduit dans la salle, tout est concentré dans un seul cabinet O qui se trouve au niveau du couloir inférieur des tribunes, entre les deux cheminées d'introduction et d'évacuation; de sorte que le chef du service du chauffage et de la ventilation y trouve, sans se déplacer, réunis tous les éléments d'observation dont il peut avoir besoin pour le régler.

Il était à craindre que l'on ne pût obtenir, dans un ancien bâtiment, une organisation aussi complète et aussi simple pour laquelle les localités ont présenté cependant d'heureuses facilités dont l'habileté de l'architecte a su tirer parti.

PROCÈS-VERBAL DES EXPÉRIENCES

FAITES SUR LES

POMPES CENTRIFUGES DE MM. NEUT ET DUMONT

PAR M. H. TRESCA.

Déjà, à l'Exposition universelle de 1867, nous avions eu l'occasion de faire sur la pompe alors exposée par MM. Neut et Dumont quelques expériences qui, bien que suffisantes pour constater le bon fonctionnement de cet appareil, n'avaient pas présenté un ensemble de résultats assez bien coordonnés, pour qu'il nous ait été possible de publier, en la forme ordinaire, un procès-verbal régulier de nos déterminations.

Par suite de cette circonstance, nous avons profité avec empressement de l'occasion plus récente, qui nous a été offerte par les constructeurs, d'examiner le fonctionnement d'une de leurs pompes, qui se trouvait installée aux docks de Saint-Ouen dans les conditions les plus favorables à une détermination exacte.

Cette pompe, du diamètre de 0.60, était actionnée par une forte machine locomobile de la construction de MM. Boire et Baudet de Lille, et elle aspirait, à niveau constant, dans le grand bassin des docks sur le quai duquel elle était placée.

L'eau était reçue dans un bassin de jauge établi dans des

conditions identiques à celles de nos expériences sur les pompes Hubert, Gwynne et Coignard, en 1864, à l'établissement des eaux de Chaillot[1]. Ce bassin était formé d'une caisse rectangulaire en bois, divisée en deux compartiments et dont les dimensions intérieures étaient les suivantes :

Longueur $3^{m}.00$; largeur $1^{m}.20$; hauteur $1^{m}.10$.

Le niveau était observé dans le second compartiment qui était muni latéralement d'une vanne, dont la largeur constante était 0.302, et dont l'ouverture, mesurée suivant une verticale, est restée pendant toute la durée des expériences égale à 0.350.

Dans une première période, on s'est uniquement attaché à étudier toutes les conditions du débit de la pompe pour un certain régime bien déterminé de la machine motrice, en réservant pour un essai spécial la mesure du travail au frein que pouvait fournir cette machine en fonctionnant dans les mêmes conditions.

La marche de la pompe était contrôlée par un compteur de tours monté sur son arbre, et par un second compteur établi sur l'arbre moteur de la machine motrice.

La pression dans la chaudière était enregistrée à intervalles fixes.

A ces premières indications nous avons joint, dans le tableau suivant, celles qui sont relatives au niveau dans le bassin de jaugeage, niveau dont l'appréciation présentait seule quelques difficultés.

1. *Annales du Conservatoire*, T. 5, page 381.

HEURES des OBSERVATIONS.	TOURS AU COMPTEUR de la pompe.	TOURS AU COMPTEUR de la machine.	PRESSION au manomètre.	NIVEAU DE L'EAU dans le bassin.
10.51	45000	»	»	0.98
10.54	»	2400	5.70	0.96
10.58	»	»	»	0.86
11	»	»	»	1.05
11.2	»	»	»	0.96
11.4	»	»	»	0.98
11.6	51700	»	»	0.85
11.9	»	3865	5.30	0.70
11.12	»	»	»	0.85
11.15	»	»	5.60	0.85
11.19	»	»	5.60	0.85
11.22	58430	»	»	0.86
11.25	»	»	5.70	0.82
11.29	»	»	»	0.83
11.32	»	»	5.70	0.82
11.33	63260	»	»	0.81
11.35	»	6250	5.70	0.84
	18260	3850	5.61	0.875

D'après ces indications, la pompe a fait 18 260 tours en 42 minutes, soit 425 tours par minute; la machine 3850 révolutions en 41 minutes, soit 94 tours par minute.

Le volume d'eau débité par seconde, par un orifice de

$$0^{m}.350 \times 0^{m}.302 = 0^{mq}.1057,$$

et sous une charge moyenne de

$$0^{m}.875 - 0^{m}.175 = 0^{m}.70,$$

sur le centre de cet orifice, doit être estimé, en prenant 0.67 pour coefficient de réduction, à

$$0.67 \times 0.1057 \sqrt{2g \times 0.70} = 0^{mc}.262\,455$$

ou 262.45 litres par seconde.

Ce débit, élevé à $6^{m}.955$, mesurés depuis le niveau d'amont jusqu'au centre de l'orifice vertical du tuyau de refoulement de la pompe, correspond, en eau élevée, à un travail par seconde de

$$262.45 \times 6.955 = 1825.34 \text{ kilogrammètres,}$$

chiffre que nous aurons à comparer à celui qui exprime le travail moteur de la machine.

Dans l'expérience au frein, qui a été continuée pendant un temps suffisant pour que le régime soit complétement établi, les données de l'expérience étaient les suivantes :

Pression au manomètre.	$5^{atm}.62$
Nombre de tours par minute, d'aprés une observation continuée pendant six minutes. . . .	89 .00
Bras du levier du frein.	2^{m} .10
Charge du frein	152^{k} .00

On déduit de ces éléments que le travail par tour s'élève à

$$2\pi \times 2.10 \times 152 = 2007.60\,;$$

et en l'appliquant aux 94 tours par minute que faisait la machine pendant l'élévation de l'eau, ce travail correspond, pour ce cas et par minute, à :

$$2007.60 \times \frac{94}{60} = 3145.24 \text{ kilogrammètres.}$$

Pour ce travail moteur, la pompe fournit en eau élevée 1825.34 kilogrammètres, ce qui fournit pour la valeur de son rendement

$$1825.34 : 3145.24 = 0.580.$$

Les pompes de MM. Neut et Dumont, bien que ressemblant à toutes les pompes centrifuges ont été successivement améliorées d'après les enseignements de l'expérience, et sous ce rapport, les entreprises d'épuisement qui ont été faites sous leur direction n'ont pas été sans influence sur les qualités que possèdent aujourd'hui ces appareils, soit au point de vue de la sûreté du fonctionnement, soit sous le rapport de la simplicité de la construction.

Le volant est entièrement construit en fonte; les aubes sont formées d'une seule pièce avec le moyeu, et s'y rattachent solidement à l'aide de fortes nervures. Cependant la forme de ces aubes laisse encore à désirer, et il serait possible de rendre encore les différences de section moins brusques, et par conséquent plus favorables, sous le rapport de l'effet utile.

Depuis l'installation de la pompe essayée à Saint-Ouen, plu-

sieurs modifications heureuses ont été apportées dans les détails de la construction.

On sait que l'un des inconvénients de ces appareils à force centrifuge a consisté pendant longtemps dans les introductions d'air qui se faisaient par les coussinets. Cet air, en vertu de sa légèreté spécifique, se cantonnait au centre de la pompe qui, après un certain temps, cessait de fonctionner pour cette cause. Pour s'opposer à cette rentrée d'air, plusieurs constructeurs ont déterminé avec succès un petit excès de pression d'eau, en dehors des boîtes à étoupe qui se trouvaient ainsi isolées de l'air extérieur. Dans les nouvelles machines de MM. Neut et Dumont, cet excès de pression est déterminé à l'intérieur de la boîte à étoupe par l'action de la pompe elle-même qui chasse une partie du liquide par un tuyau latéral sur le point à préserver. Ce tuyau était, dans la pompe de Saint-Ouen, rapporté sur le corps principal; depuis lors les constructeurs le font venir de fonte avec les enveloppes et établissent ainsi une double communication qui détermine un courant continu, bien propre au nettoyage des surfaces et au refroidissement des parties frottantes dans le cas où un échauffement quelconque tendrait à se produire.

Nous insisterons encore sur la grande longueur donnée aux paliers et sur les dispositions prises pour en écarter l'eau, afin d'y maintenir exclusivement un abondant graissage à l'huile.

Dans ces conditions, les pompes centrifuges sont devenues des appareils rustiques, dans lesquels les dérangements sont peu à craindre, et elles se trouvent parfaitement appropriées aux grands épuisements, toutes les fois que la hauteur d'aspiration ne dépasse pas 6 à 8 mètres.

L'installation que préparent MM. Neut et Dumont d'une de leurs pompes avec une machine locomobile, sur un bateau spécial, simplifiera dans bien des cas l'organisation d'un chantier d'épuisement et ne peut manquer de rendre de véritables services.

Fait par l'ingénieur sous-directeur du Conservatoire des Arts et Métiers,

Paris, le 15 septembre 1869.

H. TRESCA.

Vu : le directeur, Général MORIN.

Légende de la planche 73.

Fig. 1 — Coupe verticale faite par l'axe du volant d'une des pompes de MM. Neut et Dumont.

Fig. 2 — Plan.

Fig. 3 — Vue en élévation de l'intérieur de l'une des enveloppes et de l'extérieur du volant mis en place.

Fig. 4 — Installation générale de la pompe dans les expériences de Saint-Ouen.

A. — Volant à 12 aubes calé sur l'arbre *B.*

Le moyeu de ce volant s'amincit graduellement à partir de l'aube, et offre la courbure nécessaire pour que les deux nappes d'eau qui parcourent les aubes se rencontrent de manière à prendre, sans choc, une direction commune.

B. — Arbre moteur muni de la poulie *C* et tournant dans deux coussinets.

C. — Poulie motrice à large jante,

DD' — Enveloppe formée des deux coquilles en fonte assemblées par la bride *d* et ménageant autour du volant un canal excentré.

E. — Tuyau d'aspiration amenant l'eau de chaque côté du centre du volant.

F. — Tuyau de refoulement formant continuation du conduit excentré, réservé dans les coquilles de l'enveloppe.

G. — Tuyau faisant communiquer l'intérieur du coussinet *J* avec le refoulement.

I. — Presse à étoupe.

HH'. — Fourreaux en cuivre servant de guides à frottement doux et s'opposant à la flexion de l'arbre.

L. — Chariot sur lequel la pompe était montée.

M. — Crapaudine.

N. — Boîte à clapet.

O. — Bouchon de nettoyage.

ÉTUDE

SUR LES

MARAIS SALANTS ET L'INDUSTRIE SAUNIÈRE DU PORTUGAL

PAR M. AIMÉ GIRARD.

INTRODUCTION.

Les marais salants du Portugal ont une réputation séculaire. Pline en fait mention ; et, de temps immémorial, les pêcheurs, même ceux des contrées éloignées, sont venus, sur les côtes de ce pays, embarquer les provisions de sel nécessaires à leurs salaisons. Aujourd'hui encore les vaisseaux de l'Angleterre, de la Suède, de la Russie, de la Hollande, etc., comme aussi ceux de l'Amérique du Nord et du Brésil viennent demander aux marais portugais les 150,000 tonnes de sel que ceux-ci fournissent chaque année au commerce du monde.

Appelé en Portugal, à l'occasion de l'exposition internationale ouverte à Porto en 1865, et invité par M. le ministre de l'agriculture et du commerce à profiter de cette mission pour étudier les industries chimiques de la contrée que j'allais visiter, j'ai fixé, surtout, mon attention sur l'industrie saunière qui, tant par son importance commerciale que par la variété des procédés qu'elle emploie, m'a paru présenter un intérêt de premier ordre.

J'ai visité les principaux marais salants du Portugal, recueilli sur place des échantillons nombreux. Les hommes les plus compétents, M. O'Neill, vice-consul de France à Sétubal, M. le baron d'Alcochète à Lisbonne; M. Manoel Mendès Leite à

Aveiro, ont bien voulu m'aider de leurs lumières et me fournir d'utiles renseignements, pour lesquels je leur adresse ici de publics remercîments. Enfin, M. le M[is] d'Avila s'est empressé de faire relever pour moi d'importants documents statistiques officiels, que le gouvernement portugais n'avait pu encore livrer à la publicité. J'ai pu ainsi, suivant pas à pas l'industrie saunière du Portugal, me rendre un compte que je crois exact des procédés qu'elle emploie, de la qualité de ses produits, et enfin de la haute importance commerciale qu'elle possède.

---

§ I. — CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR L'INDUSTRIE SAUNIÈRE EN PORTUGAL.

La situation géographique du Portugal, qui, à l'extrémité de l'Europe, présente à l'Océan 600 kilomètres de côtes généralement basses et argilo-sableuses, la sécheresse des vents N. et N.-E. qui, pendant une partie de l'année, soufflent sur ces côtes, l'élévation de la température qui, normalement, y règne pendant l'été, font, à ce pays des conditions exceptionnellement avantageuses pour l'extraction des richesses salines de la mer.

La population côtière du Portugal, forte et laborieuse, tire de ces conditions avantageuses un merveilleux parti.

Déjà, à peu de distance de la frontière septentrionale, à Matozinhos, près de Porto, et même à Vianna, on rencontre sur les bords de l'Océan des marais salants habilement exploités, qui, groupés autour de quatre centres principaux (Aveiro, Lisbonne, Sétubal, et les Algarves), se développent ensuite jusqu'à l'embouchure du Guadiana, c'est-à-dire jusqu'à la frontière méridionale des Algarves.

Une production saline, dont l'importance, considérable en elle-même, acquiert une valeur inusitée lorsqu'on la proportionne au chiffre de la population portugaise, est le résultat de cette exploitation.

Chaque année cette production s'élève à près de 250,000

tonnes, dont un tiers environ est réservé aux pêcheries portugaises et à la consommation locale, et dont les deux autres tiers, destinés soit à la grande pêche, soit à la salaison des viandes, sont exportés par de nombreux navires qui viennent, tant d'Europe que d'Amérique, s'approvisionner aux puissants marchés de Sétubal, de Lisbonne et de Porto.

Le prix du sel portugais est, d'ailleurs, peu élevé ; variant sur le marais même, entre 4 et 6 francs la tonne, ce prix oscille entre 8 et 10 francs lorsque le sel est amené sous vergues, au long des bâtiments qui doivent le transporter.

Ces prix, si peu élevés qu'ils soient, ne sont pas le monopole du Portugal ; la valeur vénale du sel tend, en effet, à s'abaisser dans tous les pays producteurs, en même temps qu'augmentent et sa production et son importance commerciale.

C'est ainsi que, d'après l'enquête faite en 1866, par ordre du gouvernement français, le prix des sels récoltés dans le midi de la France s'est abaissé dans ces dernières années à 10 fr. et même 9 fr. la tonne sous vergues, et que celui des sels provenant de nos marais de l'Ouest est descendu en 1865-1866 jusqu'à 8 fr. et même 7 fr 50.

Mais la situation géographique du Portugal, aussi bien que la qualité des sels qu'il produit et l'abondance des récoltes qu'il doit à la beauté de son climat, assurent aux marchés de ce pays une faveur qui jusqu'ici ne s'est jamais démentie.

Sous le rapport de la situation géographique, les marais salants du Portugal ont sur les marais salants du midi de la France un avantage évident. Le pêcheur de Terre-Neuve, le fabricant de salaisons qui, d'Angleterre, de Suède, de Russie, viennent chercher le sel nécessaire à leur industrie, s'arrêtent de préférence aux marais portugais situés, plus que nos marais du Midi, à proximité de leur route, et évitent ainsi, en même temps qu'une plus longue navigation, les retards qu'entraîne si souvent le passage du détroit de Gibraltar.

Une autre cause fait préférer les sels portugais à nos sels de l'Ouest, que les navigateurs pourraient, avec le même avantage de route demander, aux marchés français ; nous voulons parler de leur supériorité sous le rapport de la qualité. Un vieux dicton, assez usité dans le commerce français, veut que les sels de Portugal soient plus recherchés que les nôtres parce qu'ils sont

plus impurs. Cette prétention est erronée ainsi que je le montrerai dans ce mémoire. Elle repose d'ailleurs sur une connaissance incomplète de la nature des sels portugais. Le Portugal, en effet, ne produit pas une qualité unique de sel marin. Non-seulement, d'un centre à l'autre, les procédés de fabrication et par suite les qualités varient, mais encore, sur un même marais, on voit l'industrie portugaise produire avec intention, et dans le cours d'une même saison, des sels de qualités bien différentes, et qu'on peut, pour simplifier, ramener à deux types distincts. Le premier de ces types correspond à un sel blanc, en gros cristaux d'une pureté remarquable, et de tout point comparable, quelquefois même supérieur, à nos sels de pièces maîtresses du Midi. Le second correspond à un sel également blanc, en petits cristaux, chargé en chlorure de magnésium et comparable, sous ce rapport, à nos sels de l'Ouest, mais supérieur à ceux-ci par sa parfaite blancheur. La première de ces sortes de sels est destinée surtout à la préparation des viandes salées, la seconde à la salaison du poisson, et notamment de la morue. C'est cette dernière qui fait à nos sels de l'Ouest une concurrence écrasante; la préférence qu'on lui accorde est, du reste, malheureusement justifiée, car ce sel communique au poisson une blancheur qui donne à ce produit sur les marchés une plus-value de 1 à 2 %.

Enfin, une dernière circonstance fait aux sauniers portugais une situation exceptionnelle. Dans quelques-uns des centres producteurs, l'état physique du sol et les conditions climatériques, admirablement appropriées à l'industrie de l'extraction du sel, permettent d'obtenir des récoltes d'une abondance inconnue dans notre pays. Sur les marais de Sétubal, notamment, où les pièces préparatoires n'ont qu'une étendue insignifiante, le rendement peut, dans les bonnes années, s'élever jusqu'à 250 tonnes par hectare de surface totale, tandis qu'en France le rendement sur les meilleurs salins du midi ne dépasse pas 100 tonnes par hectare, et que dans l'Ouest il atteint rarement 25 à 30 tonnes.

Aussi, les prix que nous avons indiqués plus haut, prix que notre industrie méridionale peut supporter, grâce à sa puissante organisation, qui sont pour nos malheureux paludiers de l'Ouest une cause de ruine, sont-ils encore rémunérateurs pour le producteur portugais.

Ainsi que je l'ai dit plus haut, les marais salants du Portugal

se trouvent réunis en quatre groupes principaux qui, par ordre d'importance, doivent être classés de la manière suivante :

1° Le groupe de Sétubal comprenant 380 marais environ qui s'étagent sur les bords de la rivière Sado, depuis le port de Sétubal jusqu'à celui d'Alcacer-do-Sal.

2° Le groupe de Lisbonne comprenant 300 marais, qui s'étendent sur les deux rives de la vaste rade que forme le Tage à son embouchure, et se succèdent jusqu'à Villa-franca-de-Xira au Nord, et jusqu'à Alcochète au Midi.

3° Le groupe d'Aveiro dont le centre principal comprenant 350 marais est situé sur les bords du Vouga, et auquel il faut joindre les groupes secondaires de Figueira, à l'embouchure du Mondego, de Matozinhos, près Porto, sur les bords du Douro, et enfin de Vianna sur les bords du Rio-Lima.

4° Le groupe de la province des Algarves, au sud du Portugal, où 150 salins de faible importance se rencontrent, disséminés aux environs des petits ports de Lagos, de Villa-nova-de-Portimaõ de Faro, d'Olhaõ et de Villa-Réal-de-San-Antonio.

Chacun de ces groupes, ou tout au moins chacun des trois premiers opère par un procédé qui lui est propre.

A Sétubal[1] le marais ne comprend qu'un réservoir profond qui communique directement avec les carrés sur lesquels le sel cristallise; les pièces préparatoires n'existent pas, ou, quand elles existent, elles n'ont qu'une superficie insignifiante. A cette singularité s'en ajoute une autre non moins surprenante; après la cristallisation du sel, après les trois récoltes successives que la saison permet souvent d'obtenir, les eaux-mères accumulées des trois récoltes restent sur les carrés, et viennent s'ajouter à l'eau de mer dont ces carrés sont immédiatement recouverts jusqu'à la saison suivante, sans que de ce fait la pureté du sel que cette saison fournira se trouve altérée.

A Lisbonne, en avant des carrés ou cristallisoirs, on retrouve toute la série des pièces préparatoires destinées ordinairement à

1. C'est par suite d'une corruption du langage que l'on désigne souvent le sel de cette localité sous le nom de sel de Saint-Ubbes. Ce nom n'existe pas, et le produit dont nous nous occupons ne doit pas être désigné autrement que sous le nom de sel de Sétubal, dérivé du nom latin de la ville qui n'est autre que l'ancienne *Cetobriga*.

la concentration de l'eau de la mer, et l'analogie du marais avec l'un de nos marais du Midi semble complète, mais cette analogie ne subsiste que jusqu'à la récolte; car, après celle-ci, les eaux mères sont, comme à Sétubal, laissées sur les carrés, et ne sont qu'accidentellement renvoyées à la mer.

A Aveiro, Figueira etc., c'est-à-dire dans le Nord, la marche suivie est tout autre, et rappelle les procédés des sauniers français de l'Ouest. Etablis avec un soin extrême, ces marais comprennent des pièces préparatoires nombreuses, et se terminent par des carrés ou *meïos* dans lesquels le sel est recueilli aussitôt qu'il s'en est déposé une quantité suffisante, c'est-à-dire environ tous les deux jours.

Dans la province des Algarves, le procédé suivi paraît être celui de Sétubal.

L'étude comparée de trois procédés aussi différents, appliqués simultanément dans une même contrée, sous un même climat, fournit, comme j'espère le montrer, des données non-seulement intéressantes au point de vue de l'industrie portugaise locale, mais encore utiles au point de vue général de la production du sel marin dans d'autres régions, et notamment dans notre pays.

Considérée sous le rapport commercial, l'industrie saunière du Portugal atteint, eu égard à la population de ce pays, un chiffre de production très-élevé; cette production, en effet, peut-être estimée annuellement à 250,000 tonnes en moyenne.

L'absence de statistiques officielles régulières ne m'a pas permis de dresser un tableau complet de la production portugaise, mais les renseignements même imparfaits que je réunis ci-dessous suffiront à établir l'exactitude du chiffre que je viens d'indiquer.

Tableau de la production annuelle du sel en Portugal.

ANNÉES.	DÉSIGNATION.		TOTAL.
			tonnes.
1851. . .	Sétubal.	120.000	225.000 [1].
	Lisbonne.	52.500	
	Aveiro, etc.	45.000	
	Algarves.	7.500	
1853. . .	. . . .		194.921 [2].
1854. . .	. . . .		257.981 [2].
1862. . .	Sétubal.	43.119	193,869 [3].
	Lisbonne.	80.250	
	Aveiro.	54.000	
	Figueira.	16.500	
1863. . .	Sétubal.	112.500	269.250 [3].
	Lisbonne.	80.250	
	Aveiro.	56.250	
	Figueira.	20.250	
1864. . .	Sétubal.	90.000	249.750 [3].
	Lisbonne.	80.250	
	Aveiro.	58.500	
	Figueira.	21.000	

1. Extrait des *Annales du commerce extérieur*, n° 606. Juillet 1852.
2. Extrait du *Boletin das obras publicas*. Lisboa.
3. Ces chiffres ne sont qu'approximatifs, le chiffre donné pour Lisbonne est une moyenne, celui des Algarves fait défaut; cependant l'approximation est suffisante pour pouvoir fixer le rendement moyen à 250.000 tonnes. — Je dois ces derniers chiffres à l'obligeance de M. O'Neill, vice-consul de France à Sétubal.

Mis en regard du chiffre de production des marais salants français, ces chiffres acquièrent une importance encore plus grande; ainsi que le montre le tableau ci-dessous, ces marais, pendant une période de vingt années, ont fourni au commerce une moyenne annuelle de 471,400 tonnes.

Production en tonnes de sel des marais salants français pendant quatre périodes de cinq années.

Années.	Moyenne pour l'une des cinq années.			Moyenne générale.
	MIDI.	OUEST.	TOTAL.	
	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.
1846 à 1850.	254.000	224.200	478.200	471.400
1851 à 1855.	265.400	218.400	483.800	
1856 à 1860.	262.000	177.200	439.200	
1861 à 1865.	254.800	229.600	484.400	

Si l'on compare le chiffre de la production portugaise (250,000 tonnes) au chiffre de la production des marais français (471,100 tonnes), on reconnaît que celui-ci ne s'élève pas au double du premier; et si l'on proportionne ces chiffres au nombre des habitants de l'un et l'autre pays, on voit la production du sel marin s'élever à 72 k. 500 par tête d'habitant en Portugal, et ne pas dépasser 12 k. en France.

Une partie notable du sel produit sur le sol portugais est employée à la petite pêche faite sous pavillon national, principalement sur la côte des Algarves où se croisent de nombreuses migrations de poissons; mais la partie la plus importante, les deux tiers, quelquefois même les trois quarts de la récolte sont exportés à l'étranger, et livrés soit à la grande pêche, soit à l'industrie de la salaison des viandes.

Les deux tableaux suivants que j'ai pu dresser, grâce aux obligeantes communications de M. le comte d'Avila, établissent le poids en tonnes, puis la valeur en francs des exportations du sel portugais par les différents ports du pays, pendant une période de dix ans (1855 à 1865) [1].

1. Dans la transformation des mesures portugaises en mesures françaises, j'ai adopté les relations suivantes :

Le *moïo* ou muid = 828 litres = 750 kilogr. de sel.
Le franc = 180 reis.

Tableau des quantités de sel (en tonnes) exportées du Portugal par les différents ports de ce pays.

Années.	Sétubal.	Lisbonne.	Porto.	Aveiro.	Figueira.	Algarves.	TOTAL.
1855	115.666	84.811	11.250	174	2.488	—	214.389
1856	21.568	63.643	10.343	1.021	4.683	—	100.958
1857	18.303	33.657	7.915	—	1.051	88	61.014
1858	57.405	27.677	19.520	417	1.150	—	106.169
1859	70.805	64.352	18.326	—	2.408	—	155.891
1860	52.370	55.835	25.870	114	2.634	—	136.823
1861	88.485	75.104	15.980	458	2.143	54	182.224
1862	64.441	61.133	15 153	542	1.753	142	143.164
1863	40.002	52.760	16.704	537	5.137	346	115.486
1864	34.179	40.920	10.178	237	2.309	149	87.972
1865	25.239	58.799	27.890	72	4.338	47	116.385
1866	66.087	55.566	13.787	—	Chiffres inconnus.		135.440 env.
1867	85.224	62.382	13.061	—			160.667 env.

Tableau des valeurs (en francs) du sel exporté de Portugal par les différents ports de ce pays.

Années.	Sétubal.	Lisbonne.	Porto.	Aveiro.	Figueira.	Algarves.	TOTAL.
1855	1.104.783	808.143	173.572	2.236	13.447	—	2.102.183
1856	461.966	1.316.811	168.522	13.666	44.607	—	2.005.572
1857	289.894	697.366	193.911	—	23.983	1.111	1.206.265
1858	709.698	368.602	72.016	2.150	9.266	—	1.161.732
1859	752.213	679.676	182.933	—	15.063	—	1.629.885
1860	607.507	486.796	159.694	1.111	19.243	—	1.274.351
1861	888.578	606.875	231.966	3.450	15.381	894	1.747.124
1862	896.435	588.532	219.766	2.500	31.196	1.244	1.739.673
1863	574.849	550.302	232.138	4.129	39.300	7.381	1.410.049
1864	392.956	352.332	115.838	1.480	12.663	2.596	877.865
1865	258.853	413.051	323.688	500	22.818	644	1.019.554
1866	704.936	373.440	120.850	—	Chiffres inconnus.		1.199.226 env.
1867	965.872	401.434	141.383	—			1.508.689 env.

Dans un troisième tableau, il m'a paru intéressant de rapprocher les poids et les valeurs de ces exportations pour en déduire le prix moyen de la tonne du sel portugais, sous vergues, pendant cette période de dix années.

Prix de la tonne de sel exportée des divers ports du Portugal
(sous vergues).

ANNÉES.	TONNES EXPORTÉES.	VALEURS EN FRANCS.	PRIX MOYEN DE LA TONNE.
	tonnes.	fr.	fr. c.
1855	214.889	2.102.183	9 80
1856	100 958	2.005.572	19 86
1857	61.014	1.206.265	19 76
1858	106.169	1.161.732	10 94
1859	155.891	1.629.885	10 47
1860	136.823	1.274.351	9 31
1861	182.224	1.747.124	9 58
1862	143.164	1.739.673	12 15
1863	115.486	1.410.049	12 20
1864	87.972	877.865	9 97
1865	116.385	1.019.554	8 77
1866	135.440 } environ	1.199.226	8 85
1867	160.667 } environ	1.508.639	9 38
Total....	1.716.582	18.882.168	
Moyenne...	132.045	1.452.474	10fr 99

Il n'est pas sans intérêt, non plus, de mettre en regard de ces exportations les quantités de sel exportées de France pendant la période de production indiquée plus haut; c'est ce qu'il est facile de faire à l'aide du tableau suivant que j'emprunte aux travaux dus à M. Matrot, ingénieur des mines, dans l'enquête de 1866.

Quantités (en tonnes) des sels français exportés ou livrés à la grande pêche, pendant quatre périodes de cinq années.

Années.	MOYENNE pour l'une des cinq années de la période.			Moyenne générale.
	Grande pêche.	Exportation.	TOTAL.	
	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.
1846 à 1850.	40.300	36.293	76.593	107,050
1851 à 1855.	40.770	64.804	105.574	
1856 à 1860.	41.406	79 149	120.557	
1861 à 1865.	40.100	85.400	125.500	

De cette comparaison résulte ce fait remarquable, que les quantités de sel exportées du Portugal sont supérieures à celles que la France livre tant à l'exportation pour l'industrie des salaisons qu'à la grande pêche.

Le sel portugais reçoit, suivant sa qualité, différents emplois. Les sels blancs et purs, en gros cristaux que fournissent la première et quelquefois la seconde récolte, sont principalement recherchés par la Russie, la Suède, l'Angleterre, le Brésil, etc., pour la salaison des viandes; la Norwége en consomme également pour la salaison du hareng; les sels menus, provenant du criblage des deux premières récoltes, sont plus spécialement destinés aux pêches de Terre-Neuve et d'Islande. La France elle-même en prend, dans ce but, de 3,000 à 5,000 tonnes chaque année. La salaison du beurre en Belgique, en Hollande et en Angleterre, en absorbe également d'importantes quantités. Les sels de troisième récolte, les sels d'Aveiro, de Figueira, etc., ont, le plus souvent, la même destination que les sels menus. La petite pêche recherche surtout le sel de troisième récolte, malgré ses impuretés; ce sel, par sa rapide dissolution, convient particulièrement à la préparation des saumures. La conservation des olives, en attendant l'extraction de l'huile, en emploie également une quantité notable; enfin, c'est à cette sorte seule que les habitants du Portugal et de ses colonies s'adressent pour leur consommation journalière.

§ II. — MARAIS SALANTS DE SÉTUBAL.

I. — *Disposition générale des marais de Sétubal.*

La petite rivière du Sado, sur les bords de laquelle se développent les marais salants dits de Sétubal, prend sa source près de la frontière méridionale de l'Alemtejo. Après avoir traversé du Sud au Nord, et presqu'en ligne droite, la plus grande partie de cette province, le Sado atteint, en Estramadure, la petite ville d'Alcaçer do Sal, et là, faisant brusquement un coude à angle droit, il se dirige vers l'Océan, en s'élargissant

rapidement, et se transformant bientôt, à partir de Montalpo, en une vaste baie de cinq kilomètres de largeur sur 30 à 40 kilomètres de longueur.

C'est sur les bords de cette baie, entre le port de Sétubal et celui d'Alcacer do Sal, que se trouvent les marais, au nombre de 380 environ, qui produisent le sel connu dans le commerce sous le nom de sel de Sétubal ou, très improprement, de sel de Saint-Ubbes.

Lorsqu'on visite ces marais, on est tout d'abord étonné de la simplicité avec laquelle ils sont disposés, et si l'on examine avec soin le mode de fabrication que suivent depuis des siècles les sauniers de ce pays, on n'est pas moins surpris de la grossièreté apparente de procédés qui semblent, au premier abord, en désaccord complet avec les connaissances scientifiques modernes, et qui n'en donnent pas moins des résultats excellents.

Dans un espace restreint où l'eau séjourne pour ainsi dire sans mouvements, le saunier, sans se préoccuper des impuretés qui, dans l'eau de mer, accompagnent le chlorure de sodium, fait successivement deux et trois récoltes d'un sel qu'*à priori* on est porté de considérer comme extrêmement impur, auquel, au contraire, l'analyse assigne une composition régulière, et à la formation duquel il faut, par conséquent, chercher une explication nouvelle.

Le marais, dans sa simplicité, se réduit à un réservoir (*viveiro*) de dimensions quelconques, et à une série d'espaces rectangulaires sur lesquels a lieu directement la cristallisation, qui correspondent à nos aires ou œillets et qu'on désigne sous le nom de *peças* ou *meïos*.

Pour établir un marais de ce genre, on creuse d'abord le *viveiro*, auquel on donne une profondeur de $0^m,60$ à $0^m,80$.

L'étendue en est variable, mais proportionnée à l'étendue du salin qu'il doit alimenter; la forme en est indifférente, et dépend uniquement du terrain dont le saunier dispose. Si les circonstances l'exigent, il est loisible de le subdiviser en deux ou trois capacités de moindre dimension.

Le réservoir communique, à l'aide d'une vanne, avec le ruisseau ou le chenal qui doit, à marée haute, y ramener l'eau de la mer;

il communique de la même manière avec le terrain sur lequel doivent s'étendre les cristallisoirs, et qui constitue le salin proprement dit.

Pour approprier ce terrain à l'usage auquel il est destiné, on le creuse à 2 ou 3 palmes (44 à 66 centimètres) de profondeur, et on se sert des déblais pour élever autour du marais un mur qui en fait une sorte de cuvette que l'on cloisonne ensuite au moyen de chaussées élevées de 20 centimètres au-dessus du fond, et se croisant à angle droit. Pendant un an on laisse le sol se dessécher et s'affermir, puis on introduit l'eau de mer dans le marais, et on l'abandonne à lui-même. Deux ou trois ans s'écoulent ainsi sans que le saunier puisse lui demander aucune récolte; quelquefois même, il faut attendre plus longtemps encore. Pendant ce temps le sol s'imbibe peu à peu, en même temps que sur le fond des carrés se développe une conferve qui bientôt le recouvre d'un tapis continu, élastique en même temps que d'une remarquable ténacité, et auquel on donne le nom de *casco* ou *cozimento*.

Les sauniers de Sétubal attachent à la présence de ce feutre une importance capitale. Suivant eux, sans le feutre aucune récolte n'est possible, et les marais ne commencent à produire que quand son développemeut est complet. J'espère montrer que cette opinion est pleinement justifiée par les faits, et que le feutre des salins de Sétubal joue dans la production du sel un rôle d'une efficacité singulière.

Les marais portugais ne sont pas les seuls sur lesquels se développe un feutre de ce genre; on sait que depuis longtemps déjà les sauniers du midi de la France ont favorisé, à l'instigation de M. Dol de Martigues, la végétation, sur le fond des aires où le sel se dépose, d'un feutre destiné à préserver la récolte du contact avec le sol. Mais je ne saurais dire si ce feutre formé par la végétation du *microcoleus corium* est identique à celui dont je viens de parler; il est, en tout cas, plus épais, et sa culture qui exige l'emploi successif des eaux douces et des eaux salées semble différente de la culture du feutre de Sétubal, qui, au dire des sauniers de ce pays, se détruit dans l'eau douce.

La production de feutres analogues paraît, du reste, être une conséquence naturelle de la culture des eaux salées sur des

aires de faible épaisseur. Non-seulement, en effet, un tapis de ce genre se forme spontanément sur nos salins du Midi et sur les salins portugais, mais il se forme même sur nos marais de l'Ouest. J'ai eu récemment occasion d'en constater la végétation dans les fares et les adernes des marais du Croisic.

Quoi qu'il en soit, le marais en exploitation est disposé comme l'indique la figure 1 de la planche 74.

A,A' est le réservoir ou *viveiro;* ainsi que je l'ai dit plus haut, la forme et les dimensions en sont indifférentes. La seule condition à laquelle il faut veiller avec soin est qu'il soit placé à un niveau tel qu'il puisse être rempli à marée haute par les eaux du chenal ou de la rivière (*rio*), et qu'à marée basse il puisse déverser dans celle-ci, sinon la totalité, du moins la partie la plus importante de l'eau qu'il contient.

Une vanne V établit sa communication avec le salin. Celui-ci est divisé en un nombre quelconque d'aires rectangulaires, B,B', ayant toutes la même forme, la même dimension, jouant exactement le même rôle et ne communiquant pas entre elles. Chacune de ces aires ou carrés (*meios* ou *peças*) mesure de 100 à 150 mètres de superficie. Leurs dimensions sont, en général, de 10 à 12 mètres sur 12 à 14; leur profondeur varie de 15 à 20 centimètres. Des chemins (*marachão* ou *barachio*), mesurant de 1^{m},20 à 1^{m},50, les séparent les uns des autres, et au milieu de ces chemins s'allongent des rigoles (*corredouros*) qui, par de petites vannes (*comportas*) conduisent dans les carrés, lorsque le saunier le juge convenable, l'eau qui doit nourrir la récolte.

Chaque rigole alimente généralement deux séries longitudinales de carrés, et le nombre de ces carrés varie avec l'importance du salin (*marinha*); il doit, naturellement, être proportionné à l'étendue du réservoir. J'ai vu des marais où chaque série longitudinale était formée de dix ou douze carrés; pour d'autres marais, ce nombre est beaucoup plus petit.

En tête de chaque quadruple série est disposée une pièce préparatoire unique, de dimensions très-restreintes, par rapport à l'étendue du salin. Cette pièce, désignée sous le nom de *caldeira*, ou chauffoir, mesure 20 mètres sur 64 mètres. Sa surface représente à peine le cinquième de l'étendue des surfaces évaporatoires auxquelles elle correspond. C'est par l'intermédiaire des *caldeiras* que le réservoir communique avec les carrés; mais

son rôle est peu important, et bien différent de celui que joue la longue série des pièces préparatoires qui se succèdent sur nos marais du Midi et de l'Ouest.

II. — *Fabrication et récolte du sel à Sétubal.*

La fabrication du sel, sur ces marais, est d'une simplicité surprenante. La récolte prend généralement fin vers les derniers jours de septembre. Lorsqu'elle est terminée, le saunier, laissant sur les carrés les eaux-mères qu'elle a fourni en dernier lieu, ouvre le réservoir et inonde le marais tout entier (*caldeiras* et *peças*), de manière à le recouvrir d'une hauteur de 60 centimètres d'eau environ; puis, profitant d'une grande marée, il remplit de nouveau le réservoir. Cela fait, le marais est abandonné à lui-même jusqu'à la saison prochaine.

Dans le courant du mois de mai, cette saison commence. Si l'hiver a été exceptionnellement pluvieux, le saunier fait écouler du marais au réservoir, et du réservoir à la mer les couches supérieures (et seulement celles-là) des eaux que la pluie a diluées outre mesure. Mais si l'hiver a été beau, si la saison s'est accomplie dans les conditions ordinaires, il laisse sur les marais et dans le réservoir les eaux qui y ont été introduites à l'automne précédent, et qui, comme nous venons de le dire, se sont mélangées à l'eau-mère laissée sur les carrés.

Ce sont ces eaux, et non des eaux soumises, comme dans les procédés ordinaires, à une concentration partielle à travers des pièces préparatoires de grande étendue, qui, sur les carrés eux-mêmes, doivent fournir la première récolte de l'année.

Sous l'action des vents chauds et secs du N. et surtout du N.-E., l'évaporation de ces eaux marche rapidement. Quarante jours, environ, suffisent, si les conditions sont bonnes, pour les abaisser au niveau des chaussées et pour découvrir celles-ci. Les carrés se trouvent alors indépendants, et l'eau n'y peut plus arriver que par les rigoles venant du chauffoir et du réservoir.

A ce moment, l'eau marque déjà un degré élevé; les matières insolubles se sont précipitées en même temps qu'une partie du sulfate de chaux. Quelquefois même, au moment où les chaussées se découvrent, le sel a commencé de s'y déposer.

C'est alors que le saunier procède au nettoyage du salin (*limpar a marinha*). Dans chaque carré, dans la crainte de blesser le feutre qui forme le fond, il pose une planche ou deux, sur lesquelles il s'appuie, puis, à l'aide d'un râble en chêne, il ramasse doucement et ramène vers un des coins du carré les herbes, la boue et les cristaux de sulfate de chaux qui ont pu se déposer sur le sol. En même temps il procède aux réparations que l'hiver a rendues nécessaires; il redresse les murs, aplanit les chaussées, etc.

Le nettoyage terminé, la concentration continue dans chaque carré; si la saison est belle, si l'on peut espérer une saunaison abondante, on augmente peu à peu le volume primitif, en envoyant à chaque carré de l'eau du chauffoir (*caldeira*) que l'on remplace à son tour par un nouvel envoi du réservoir (*viveiro*). Dans ces conditions, vingt jours suffisent, en général, pour que la saunaison commence, et quinze ou vingt jours plus tard, elle peut être considérée comme complète; *la récolte est mûre.*

La récolte ne se fait, bien entendu, que sur les carrés. Le chauffoir reste toujours rempli d'eau partiellement concentrée; on n'y voit pas de sel déposé, mais seulement de très-beaux cristaux de sulfate de chaux.

L'aspect de cette première récolte de sel, lorsqu'elle repose encore sur le carré, est extrêmement curieux. En effet, tandis que dans les salins du midi, on trouve sur le fond des aires, au moment de la récolte, une couche de sel épaisse, mais recouverte d'une couche d'eau épaisse également, les carrés de Sétubal, au moment de la première récolte, se montrent recouverts d'une masse cristallisée blanche qu'aucune couche liquide ne recouvre, mais que mouille seulement une petite quantité d'eau-mère. *L'évaporation a été conduite jusqu'à siccité.*

Le levage de cette couche de sel qui, dans les bonnes années, atteint quatre centimètres d'épaisseur, exige de grandes précautions. Pour l'accomplir, on se sert, non pas de pelles plates comme dans le midi de la France, mais de râbles en bois. Cette opération se fait généralement le soir, à cause de la haute température du carré, température que les ouvriers, forcés de marcher sur le fond de ce carré, ne pourraient supporter. Le sel, après qu'on l'a laissé quelque temps égoutter sur le carré lui-

même, est ensuite transporté sur les grandes chaussées qui entourent le marais, et mis en tas, comme de coutume.

La première récolte (*primeira camada*) achevée, il reste, dans chaque carré, une petite quantité d'eaux-mères. Sans évacuer ces eaux, on renvoie immédiatement dans chaque carré 15 centimètres d'eau que l'on prend au chauffoir, puis, à cause de l'insuffisance de celui-ci, au réservoir.

L'évaporation de ces eaux conduit rapidement, en vingt jours environ, à la deuxième récolte; pour celle-ci, le saunier ne prend pas le soin de nettoyer le salin comme il l'a fait pour la première récolte. Ce soin du reste n'est pas indispensable, car, dans le réservoir lui-même, l'eau s'est, pendant les mois précédents, concentrée et débarrassée de la plus grande partie des matières insolubles. La deuxième récolte (*secunda camada*) ne s'effectue pas dans la même condition que la première, elle a lieu sous l'eau. Si les circonstances ont été favorables, la couche de sel mesure deux centimètres et se trouve recouverte d'une couche d'eau de hauteur à peu près égale. Les cristaux qui n'ont pas eu le temps de se nourrir sont plus petits que ceux de la première récolte. Tous ces faits sont importants à noter pour l'explication de la valeur relative des produits obtenus.

Enfin, la deuxième récolte terminée, on tente d'en obtenir une troisième, en opérant exactement de la même manière. Cette troisième récolte, que l'on nomme *raza*, ne réussit pas toujours; elle conduit la saison jusqu'à fin septembre[1], et quelquefois les pluie de l'automne viennent contrarier les opérations. La couche de sel que fournit cette troisième récolte ne dépasse jamais un centimètre d'épaisseur; on la recueille sous l'eau, comme la seconde, à l'aide d'un râble en bois.

La saunaison étant terminée, le marais est immédiatement recouvert, ainsi que je l'ai dit en commençant; mais cette opération n'est pas, comme il semblerait naturel de le supposer, précédée de l'évacuation des eaux-mères laissées sur les carrés par les trois récoltes qu'on vient d'obtenir, et surtout par les deux dernières.

Le même fait se renouvelle, d'ailleurs, chaque année; les eaux-mères sont toujours laissées sur le marais, et les sels ma-

1. J'ai vu faire une troisième récolte le 28 septembre.

gnésiens, ainsi abandonnés sur le salin à chaque récolte nouvelle, semblent devoir rendre bientôt toute saunaison impraticable par leur accumulation[1]. Il n'en est rien cependant, et chaque année, malgré cette coutume singulière, les marais de Sétubal fournissent de nouvelles récoltes dont l'abondance ne dépend que des conditions atmosphériques de la saison.

III. — *Composition des sels de Sétubal.*

Pour expliquer cette production saline si régulière, quoique paradoxale en apparence, la première hypothèse qui se présente à l'esprit est que les sels de Sétubal sont fortement chargés en composés magnésiens, et que la première récolte notamment, qui est conduite presque à siccité, a pour mission d'enlever au marais, comme le ferait une éponge, non-seulement les sels magnésiens contenus dans le volume d'eau salée d'où elle provient, mais encore les composés qui ont été abandonnés sur les carrés par la deuxième et la troisième récolte de l'année précédente.

Aussi, laissant de côté les analyses de sels de Sétubal faites par divers savants qui avaient opéré sur des échantillons de provenance incertaine, me suis-je, tout d'abord, préoccupé de soumettre à l'analyse des échantillons de première et de deuxième récolte, d'âge parfaitement connu, recueillis par moi sur le marais même et immédiatement enflaconnés, afin d'empêcher que leur composition première ne fût modifiée par l'écoulement des sels déliquescents dont ils pouvaient être imprégnés.

Le tableau ci-dessous résume les résultats que j'ai obtenus : la composition des sels y est calculée à l'état sec ; la proportion d'eau contenue par chacun d'eux est indiquée d'autre part :

1. Il arrive bien quelquefois, soit au commencement de la saison, soit dans le cours de la saunaison, qu'à la suite de pluies violentes, le saunier doit renvoyer à la mer une partie de ses eaux ; mais il ne renvoie jamais que les couches supérieures, qui, seules, suivant lui, se trouvent diluées par la pluie.

Composition des sels de Sétubal calculés à l'état sec.

DÉSIGNATION.	13 SEPTEMBRE 1865. 1re RÉCOLTE après six semaines de meule.	13 SEPTEMBRE 1865. 2e RÉCOLTE après 15 jours de meule (encore mouillée.)
Matière insoluble......	0.015	0.080
Sulfate de chaux......	1.087	2.081
Sulfate de magnésie....	0.268	1.881
Chlorure de magnésium.	0.097	1.824
Chlorure de sodium (par différence).........	98.533	94.184
	100.000	100.000
Eau................	6,9 °/°	10,4 °/°

DÉSIGNATION.	28 SEPTEMBRE 1865. 1re RÉCOLTE après 30 jours de meule.	28 SEPTEMBRE 1865. 2e RÉCOLTE pris à la récolte même.
Matière insoluble......	0.022	0.047
Sulfate de chaux......	1.107	1.298
Sulfate de magnésie...	0.477	1.789
Chlorure de magnésium.	0.434	2.000
Chlorure de sodium (par différence).........	97.960	94.866
	100.000	100.000
Eau................	9,7 °/°	9,2 °/°

De l'examen des nombres que je viens de rapporter découlent plusieurs conséquences importantes :

1° Les sels de Sétubal ne doivent pas être confondus sous une dénomination unique, et il faut soigneusement distinguer les sels de première et les sels de deuxième récolte.

2° Les sels de première récolte de Sétubal sont d'une remarquable pureté; ils ne renferment que des traces de matières insolubles, et la proportion des composés magnésiens y est à peine égale, et quelquefois même elle est inférieure à la proportion des mêmes composés que renferment nos meilleurs sels du Midi.

3° Les sels de deuxième récolte ont une composition bien différente : chargés en chlorure de magnésium, ils offrent avec les sels de l'Ouest de la France une analogie frappante de composition; mais ils diffèrent nettement de ceux-ci par leur blancheur parfaite, ainsi que par la faible proportion de matières insolubles qu'ils renferment.

Ce n'est pas tout : désireux de savoir dans quelle proportion les composés magnésiens peuvent s'accumuler dans les eaux-mères qui fournissent les sels précédents, j'ai soumis à l'analyse deux eaux-mères marquant, l'une 33° B, l'autre 32° B. Ces deux eaux-mères ont été prises par moi sur le salin, à Sétubal : la première après une deuxième récolte, la seconde au moment d'une troisième récolte. L'analyse m'a donné les résultats suivants :

	I marquant 33° B.	II marquant 32° B.
Sulfate de magnésie	9.79	9.68
Chlorure de magnésium...	9.81	8.47
Chlorure de potassium....	1.53	2.31
Chlorure de sodium......	12.48	14.27
Bromure de sodium......	— non dosé.	—
	pour 100 d'eaux-mères.	

Pour apprécier sainement la composition de ces eaux mères, je les comparerai à celles dont M. Usiglio a, par d'excellentes analyses, fait connaître la composition. Ce sont des eaux-mères des salins du Midi marquant 30° B et 35° B.

Eaux-mères des marais salants du Midi (d'après M. Usiglio).

	I marquant 30° B.	II marquant 35° B.
Sulfate de magnésie......	6.231	8.676
Chlorure de magnésium...	8.041	14.796
Chlorure de potassium....	1.449	2.497
Chlorure de sodium......	16.830	12.105
Bromure de sodium......	1.161	1.545
Eau.................	66.288	60.381
	100.000	100.000

Si l'on compare ces nombres à ceux que j'ai fait connaître plus

haut, si l'on remarque que, d'après M. Usiglio lui-même, le dépôt du sel entre 33° B et 35° B ne dépasse pas 1 à 1,5 °/₀, on reconnaît que les eaux-mères de Sétubal, au lieu d'être plus chargées en composés magnésiens que les eaux-mères des salins du Midi, contiennent au contraire une proportion moindre que celles-ci de sels déliquescents.

IV. — *Examen scientifique du procédé suivi à Sétubal pour la production du sel.*

Les résultats que je viens de rapporter renversent complétement l'hypothèse qui, la première, se présente à l'esprit : les sels de première récolte, obtenus presqu'à sec, sont très-purs; les sels de deuxième récolte, recueillis au sein d'une quantité d'eau notable, sont chargés en sels magnésiens. La question reste donc entière, et l'on est conduit à se demander ce que deviennent les impuretés salines qui devraient s'accumuler sur le marais, d'une année sur l'autre.

Si l'on réfléchit aux différences que l'analyse accuse entre les sels de première et de deuxième récolte, on est frappé de ce fait que le sel le plus pur est celui fourni par l'eau qui a le plus longtemps séjourné sur le sol du marais, et dès lors il est permis de supposer que c'est à un effet physique, dont ce sol serait la cause, qu'est due la disparition des composés magnésiens.

En approfondissant cette idée, j'ai été amené à croire que le feutre du marais pouvait jouer dans la fabrication du sel, du moins lorsqu'il repose sur certains sols déterminés, celui de Sétubal par exemple, un rôle plus important que celui de simple tapis qui lui avait été assigné jusqu'ici.

J'ai pensé que cette surface continue, séparant l'eau qui se concentre du sol toujours plus ou moins perméable sur lequel elle repose, pouvait faire, entre ces deux milieux, l'office du papier parcheminé dans les phénomènes observés par M. Graham et donner lieu à une séparation saline effectuée par dialyse.

Il m'a semblé possible, cette analogie admise, que le chlorure de magnésium passant plus vite que le chlorure de sodium à travers ce dialyseur gigantesque formé par la nature, l'eau de mer se purifiât spontanément par le long séjour qu'elle fait sur

le feutre en attendant la première saunaison, et ne pût se purifier aussi complétement pendant le temps relativement court qui conduit aux deuxième et troisième récoltes.

J'ai voulu vérifier cette hypothèse par des essais directs, et l'expérience m'a montré que l'explication, ci-dessus indiquée, avait grande change d'être exacte. Je n'ai pu, malheureusement, rapporter de Portugal des échantillons de feutre assez grands pour pouvoir en construire un dialyseur, mais la structure de ce feutre est tellement comparable à celle du papier parcheminé, que j'ai pu, raisonnablement je crois, substituer ce dernier aux échantillons qui me manquaient.

Mes essais ont été dirigés de la manière suivante : j'ai préparé des solutions diversement concentrées formées d'un mélange de chlorure de magnésium et de chlorure de sodium, dans lesquelles la proportion du sel de magnésie ne s'élevât pas au delà du quart de la proportion du sel de soude. Chacune de ces solutions a été divisée en deux parties : l'une des moitiés a été placée dans le dialyseur, l'autre a servi à mouiller du sable fin sur lequel le dialyseur a été simplement posé. De telle sorte que, sauf la faculté d'écoulement du liquide dont mon sol artificiel était imprégné, mon appareil représentait assez bien l'un des carrés sur lesquels le sel cristallise à Sétubal.

L'appareil ainsi installé était abandonné à lui-même ; puis, au bout de trois jours de contact, je dosais dans la liqueur contenue par le dialyseur, et dans celle placée sous celui-ci, le chlore et la magnésie, de manière à déduire les rapports des deux chlorures.

Les résultats de mes analyses sont résumés dans le tableau suivant :

ESSAIS DE DIALYSE

faits en plaçant le dialyseur sur du sable mouillé avec une liqueur tantôt étendue, tantôt concentrée, de chlorure de magnésium et de sodium, et plaçant, dans le dialyseur, la même liqueur.

	Liqueur à 6°.		Liqueur à 16°.	
Rapport primitif des deux sels.	$\frac{MgCl}{NaCl} = \frac{24}{100}$		$\frac{MgCl}{NaCl} = \frac{28}{100}$	
Rapport après 3 jours.......	dessus.	dessous.	dessus.	dessous.
....	$\frac{21}{100}$	$\frac{26}{100}$	$\frac{27}{100}$	$\frac{31}{100}$

	Liqueur à 6°.		Liqueur à 17°.	
Rapport primitif.............	$\frac{Mg\,Cl}{Na\,Cl} = \frac{22}{100}$	....	$\frac{Mg\,Cl}{Na\,Cl} = \frac{24}{100}$	
Rapport après 3 jours.......	dessus.	dessous.		
....	$\frac{19,7}{100}$	$\frac{23,4}{100}$		
			dessus.	dessous.
Rapport après un mois..............................			$\frac{23,7}{100}$	$\frac{25}{100}$

J'ai pu, depuis, me procurer un échantillon de feutre pris au salin de Berre et d'assez grandes dimensions pour pouvoir constituer un dialyseur, que j'ai mis de la même façon en expérience. Le résultat a été le même qu'avec le papier parcheminé. La liqueur primitive marquait 4° B; au bout de dix jours, le rapport $\frac{Mg\,Cl}{Na\,Cl}$ était : sur le dialyseur $= \frac{18,4}{100}$ et sous le dialyseur $= \frac{22,3}{100}$.

La conclusion à tirer de ces résultats est très-nette; à travers le dialyseur, et dans les conditions ci-dessus indiquées, le chlorure de magnésium a toujours passé plus vite que le chlorure de sodium, et la proportion de sel magnésien a toujours diminué dans le liquide placé au-dessus du papier parcheminé ou du feutre végétal, pour augmenter dans le liquide placé au-dessous[1].

Je ne crois donc pas être dans l'erreur en disant : Les pratiques singulières des sauniers de Sétubal, pratiques à l'aide des-

1. L'observation de ce fait curieux m'a porté à me demander si d'autres sels de même nature, mais différant de même par leur poids atomique, se comporteraient d'une façon analogue. Je ne rapporterai qu'un seul de ces essais; il a été fait sur un mélange de perchlorure de fer et de chlorure de barium. Une même solution placée sous et sur le dialyseur, a donné les résultats suivants :

Après trois jours....... $\frac{Fe^2\,Cl^3}{Na\,Cl} = \frac{62,1}{100}$ (dessus) — $\frac{67,8}{100}$ (dessous).

Le fait semble donc se généraliser, et il paraît probable que, dans ces conditions, le chlorure dont le poids atomique est le plus faible est celui qui traverse la surface dialysante le plus rapidement.

quelles ces sauniers obtiennent un sel très-pur en évaporant l'eau de mer presqu'à sec sur un sol où les eaux-mères des récoltes précédentes semblent devoir s'accumuler, se trouvent justifiées par cette considération que le feutre (*casco* ou *cozimento*), dont leurs marais sont revêtus, agit sur les eaux qui y séjournent longtemps comme un épurateur, et détermine le passage à travers le sol toujours plus ou moins perméable des composés magnésiens qui devraient le souiller.

Je ne voudrais pas cependant conclure, des observations précédentes, que ce phénomène de diàlyse se produit de la même façon, partout où se rencontre, soit le feutre des salins portugais, soit le feutre Dol de nos salins du Midi. La perméabilité du sol sous-jacent, l'état de concentration des eaux dont la dialyse paraît d'autant plus facile qu'elles sont plus étendues, doivent exercer sur la production de ce phénomène et surtout sur son intensité une grande influence.

Quoi qu'il en soit, il fournit d'un fait, en apparence paradoxal, une explication plausible.

A l'appui de cette explication, il m'a semblé intéressant de soumettre à l'analyse le sol sur lequel repose le feutre des marais de Sétubal. C'est une argile molle et légère, évidemment modifiée par le passage des substances salines qui la traversent; elle est, à la surface, noirâtre et légèrement sulfurée; elle est, en outre, imprégnée de cristaux de sulfate de chaux qui sans doute en augmentent la perméabilité jusqu'à une certaine profondeur. Débarrassée par de nombreux lavages à l'eau des sels solubles dont elle est imprégnée, cette argile donne à l'analyse les nombres suivants :

$Si\,O^2$..........	62.2	62.0	61.9
$Al^2\,O^3$, $Fe^2\,O^3$...	27.3	28.6	29.0
$Mg\,O$..........	10.3	9.3	9.0
	99.8	99.9	99.9

On ne saurait s'empêcher d'être frappé de la grande proportion de magnésie qu'a fixée sur cette argile le passage des eaux salées et magnésiennes, véritables eaux-mères de la saunaison par lesquelles le feutre du marais s'est laissé traverser.

V. — *Commerce du sel de Sétubal.*

Les considérations générales que j'ai fait connaître au § II me permettront de ne pas insister longtemps sur ce point.

Les sels de Sétubal sont, pour la plus grande partie, destinés à l'exportation; ceux de deuxième et troisième récolte sont principalement destinés à la pêche, et les pêcheurs de Terre-Neuve en sont les consommateurs principaux. Une partie notable de ce sel est cependant consommée dans le pays, ou employée à la petite pêche.

Le sel de la première récolte est plus spécialement destiné à la salaison des viandes, et pris dans ce but par le commerce du Brésil, de l'Angleterre, de la Russie, etc. Il ne se vend pas, en général *tout venant*, et tel que le marais le fournit; pour la salaison, les gros grains qui permettent de séparer aisément les couches de viandes doivent être préférés aux petits. Aussi, pour obtenir ce sel à un état convenable, le soumet-on à un criblage. Cette opération s'exécute généralement à bord, à l'aide d'un appareil fort simple dont l'inventeur est M. O'Neill, vice-consul de France à Sétubal.

Cet appareil consiste en une caisse rectangulaire de 2 mètres de large environ sur 4 mètres de longueur : sur trois des côtés de cette caisse règne un rebord de 20 centimètres; le quatrième côté, qui est un des petits, est ouvert. Le fond est formé d'une toile en fer étamé. La caisse oscille autour d'un axe horizontal en fer, par un simple jeu de bascule; au milieu, le grillage est soutenu par quelques bandes de bois, afin d'éviter que le poids du sel n'écrase ce grillage. A chacune des extrémités de l'une des diagonales de cette caisse se place un ouvrier. Là se trouve un manche horizontal, à l'aide duquel on imprime au sytème un mouvement d'oscillation de haut en bas. Les ouvriers jettent peu à peu, à la pelle, le sel tout venant sur le milieu; le sel menu passe à travers le crible et s'écoule du côté du bout fermé; le sel gros est rejeté par le côté ouvert. Au-dessous de chaque extrémité est disposée une planche inclinée conduisant à la cale le sel que le bateau doit emporter, et sur le pont celui qui doit retourner au magasin; celui-ci est rejeté à la pelle dans une allége amarrée

contre le bord. Malgré les frais de transport du sel ainsi rejeté, il est, paraît-il, plus économique de cribler à bord qu'à terre.

C'est surtout pour le compte des exportateurs anglais que se fait cette opération; l'Angleterre a, d'ailleurs, pour le sel de Sétubal, une prédilection particulière, et, aujourd'hui encore, les contrats d'adjudication des salaisons de viandes destinées à la flotte anglaise portent que ces salaisons doivent être faites de sel de Sétubal.

Production et exportation. — Les chiffres de production du sel à Sétubal, sont les suivants, d'après les communications officieuses de M. O'Neill :

1861	79.500 tonnes.
1862	43.119 —
1863	112.500 —
1864	90.000 —

Le tableau suivant, que j'ai dressé d'après les statistiques officielles qu'a bien voulu me communiquer. M. d'Avila, renferme les chiffres et les valeurs d'exportation de Sétubal, pour une période de dix années; j'y ai joint le prix moyen du sel sous vergues à Sétubal, pour chacune des dix années de cette période :

Exportation du sel de Sétubal (par ce port), *en tonnes.*

ANNÉES.	TONNES.	VALEURS EN FRANCS.	PRIX DE LA TONNE (sous vergue).
		fr.	fr. c.
1855	115.666	1.104.783	9 55
1856	21.568	461.966	20 48
1857	18.303	289.894	15 83
1858	57.405	709.698	12 36
1859	70.805	752.213	10 62
1860	52.370	607.507	11 60
1861	88.485	888.578	10 04
1862	64.441	896.435	13 90
1863	40.002	574.849	14 35
1864	34.179	392.956	11 49
1865	25.239	258.853	10 25
1866	66.087	704.936	10 00
1867	85.224	965.872	10 62

§ III. — MARAIS SALANTS DE LISBONNE.

I. — *Disposition générale des marais de Lisbonne.*

Les marais salants, que l'on désigne généralement sous le nom de marais de Lisbonne, sont presque aussi nombreux que ceux de Sétubal; leur nombre atteint environ trois cents. Ils s'étendent sur les deux rives de la vaste baie qui, de Lisbonne à Villa-Franca-de-Xira, forme l'embouchure du Tage. C'est sur la rive septentrionale, et principalement autour de Povoa, que ces marais se rencontrent en plus grand nombre.

La disposition générale de ces marais n'est pas simple comme celle des marais de Sétubal; elle rappelle bien plutôt, dans les parties essentielles, celle de nos marais du midi de la France. L'eau salée, prise à un vaste réservoir communiquant avec le Tage, circule ensuite en nappe peu épaisse sur une série de pièces préparatoires où sa marche est calculée de telle sorte qu'après s'être débarrassée, chemin faisant, des matières insolubles et du sulfate de chaux, elle arrive aux cristallisoirs au moment précis où va commencer le dépôt du sel dont elle est alors chargée.

Le procédé suivi pour l'exploitation de ces marais n'est cependant ni aussi simple, ni aussi net que celui dont font usage les sauniers du Midi de la France. C'est une sorte de compromis entre ce procédé et le procédé des sauniers de Sétubal. Comme dans celui-là, l'eau, avant d'arriver aux cristallisoirs, est concentrée avec soin, et la récolte a lieu lorsque la table est chargée d'une couche épaisse de sel; mais, comme dans celui-ci, une deuxième, quelquefois même une troisième récolte succèdent à la première, et les eaux-mères ne sont pas chaque année rejetées hors du salin. Les marais de Lisbonne sont garnis, comme ceux de Sétubal, d'un feutre ou *cozimento*. Ce feutre est de tous points semblable à celui que j'ai précédemment étudié; mais il ne paraît pas avoir sur les salins de Lisbonne la même importance que sur ceux de Sétubal. Il ne se rencontre pas d'ailleurs sur toutes les pièces, et se trouve localisé dans les cristallisoirs et les pièces qui les avoisinent. En effet, soit que le sol sur

lequel il repose, à Lisbonne, soit moins perméable que celui des salins de Sétubal, soit que les eaux n'arrivent à son contact, sur la table salante, que quand elles sont déjà concentrées et épaisses, l'épuration de l'eau et le départ des sels magnésiens ne s'opère plus aussi nettement que dans le cas que j'ai précédemment examiné.

L'un des plus importants propriétaires de marais de Lisbonne, M. le baron d'Alcochete a fait, à ce sujet, des expériences très-intéressantes, et il a reconnu que si, par une cause fortuite, une partie de l'eau du marais ne vient pas à être évacuée, le salin devient au bout de trois ans incapable de produire. Les eaux sirupeuses dont il reste alors chargé s'opposent à toute cristallisation, et il faut, dans ce cas, renvoyer ces eaux à la mer. D'ailleurs, toutes les tentatives faites pour récolter presqu'à sec, comme à Sétubal, ont échoué.

Aussi, s'il est permis de croire que, même sur les salins de Lisbonne, le feutre a une influence sur l'épuration de l'eau, faut-il reconnaître que cette influence est limitée et moindre qu'à Sétubal.

Le marais comprend, en premier lieu, un réservoir ou *viveiro* de forme quelconque, communiquant avec le Tage à l'aide d'une vanne, et placé à un niveau tel qu'il puisse être rempli à marée haute et laisser écouler à marée basse la plus grande partie de l'eau qui s'y trouve contenue. Ce réservoir doit avoir de grandes dimensions, il faut qu'il contienne assez d'eau pour alimenter aisément le marais pendant quinze jours et même un mois. C'est, en effet, aux grandes marées seulement que l'on remplit ce réservoir; sa profondeur est, comme à Sétubal, de 60 centimètres environ. En outre, le bas degré des eaux du Tage qui rarement s'élève au-dessus de 2° B, et souvent descend à 1°, exige l'emploi d'eaux beaucoup plus abondantes pour l'alimentation du salin.

Entre le réservoir et les tables s'étend la série des pièces préparatoires; le nombre de ces pièces est à peu près indifférent, leur étendue importe seule. Celle-ci doit-être double au moins de la surface des tables que la série est chargée d'alimenter. En France, dans le Midi, le rapport entre les surfaces d'évaporation et celles destinées à la cristallisation est plus considérable;

les premières doivent avoir une étendue sextuple, et quelquefois même cette étendue est décuple de celle des cristallisoirs. C'est à la beauté du climat portugais que les marais de Lisbonne doivent cet avantage.

Quoi qu'il en soit, on compte en général entre le réservoir (*viveiro*) et les tables salantes (*talhos*) quatre pièces principales. Celles-ci communiquent entre elles à l'aide de petites vannes, et la profondeur de chacune d'elles est d'une palme (0^m, 22) environ. La première de ces pièces est la *reserva*, de grandes dimensions, où l'eau, en même temps qu'elle se concentre, laisse déposer à l'état de boue les matières insolubles, carbonates de chaux, etc., dont elle était chargée. Viennent ensuite les *caldeirões* ou chauffoirs : on en compte en général deux, quelquefois trois, à la suite les uns des autres, et tous de même dimension; puis vient, en dernier lieu, le chauffoir auquel on donne le nom de de *caldeira de mourar* (par corruption de *mirar*, regarder). C'est le chauffoir où l'on regarde, où l'on examine l'état de l'eau, avant de l'envoyer sur les tables. Celles-ci ont des dimensions fixes; elles mesurent, en général, 22 mètres sur 6^m,60. Toutes ces pièces sont séparées les unes des autres par des chemins ou chaussées de 1 mètre à 1 mètre 50.

II. — *Fabrication du sel sur les marais de Lisbonne.*

Vers la fin du mois de septembre, lorsque la dernière récolte de sel est enlevée, le saunier (*marroteiro*), sans renvoyer au fleuve les eaux-mères que les récoltes successives ont fourni, recouvre le salin en utilisant les eaux déjà concentrées dans les chauffoirs, puis inonde le reste du marais à l'aide d'une prise d'eau générale faite, un jour de grande marée, par l'intermédiaire du *viveiro*.

Le marais passe l'hiver en cet état; vers la fin de mai, ou au commencement de juin, le travail du saunier commence. Son premier soin est de procéder au nettoyage du salin; cette opération est de la plus grande importance. A l'aide de moulins à bras, il rejette dans les chauffoirs les plus rapprochés des tables l'eau qui recouvre celles-ci; puis, à l'aide de râbles en bois, il débarasse le fond, dont il évite soigneusement de bles-

ser le feutre, des boues qui s'y sont déposées pendant l'hiver. Lorsque les tables sont propres, le saunier procède au nettoyage des autres pièces, en rejetant successivement l'eau d'une pièce dans la pièce suivante, et évacuant enfin l'eau des *reservas* dans le *viveiro*. Ces eaux doivent toutes être conservées soigneusement; pendant l'hiver, en effet, elles ont subi une évaporation notable, et marquent déjà un degré élevé.

Quand le salin est entièrement approprié, on remet sur les tables l'eau des derniers chauffoirs (*caldeira de mourar*), en en faisant entrer d'un seul coup une hauteur de 12 à 15 centimètres.

Cette eau, par l'évaporation de l'hiver, a acquis une grande concentration; aussi, peu de jours après son introduction sur les tables, commence-t-on à voir le fond se garnir de sel. C'est vers la fin de juin, en général, que se produit cette saunaison. A partir de ce moment, la formation du sel ne s'arrête plus; tous les deux ou trois jours, suivant la température et l'intensité du vent, on ouvre les vannes, et on donne de l'eau aux tables. En même temps, bien entendu, on remplace de la même manière l'eau qui s'est évaporée à la surface des chauffoirs, et, pour cela, on fait circuler l'eau d'une pièce à l'autre; quant à la *reserva*, elle est alimentée par le *viveiro*. C'est de l'examen attentif du chauffoir, qui précède immédiatement les tables, que dépend le succès de la saunaison; dans cette pièce se déposent les dernières portions de sulfate de chaux, là aussi commence le dépôt du sel. La détermination du point où ce dépôt devient assez abondant pour qu'il convienne d'envoyer l'eau sur la table est bien rarement faite avec exactitude; l'emploi de l'aréomètre est peu répandu sur ces marais.

L'alimentation des tables est continuée régulièrement pendant 40 jours environ. Vers le 10 août, la couche de sel, si la saison a été bonne, mesure dix centimètres environ, et l'on procède à la première récolte; celle-ci a lieu sous l'eau. L'opération, qui se fait à l'aide d'un râble en bois, doit être conduite avec beaucoup de soin; l'ouvrier doit éviter de blesser le feutre qui forme le fond. Le sel, après s'être égoutté quelques heures sur les chemins du marais, est transporté et mis en meules sur les grandes chaussées qui l'entourent.

L'eau-mère de la récolte est laissée sur les tables; à cette eau-mère on ajoute immédiatement de nouvelles eaux venant des chauf-

foirs, et l'on continue l'alimentation à l'aide d'eaux concentrées, comme pour la récolte précédente, jusqu'aux premiers jours de septembre. Pendant ces vingt jours, une nouvelle couche de sel s'est déposée, moins épaisse que la précédente, et formée de cristaux plus petits. Cette deuxième récolte est enlevée des salins de la même façon que la première; l'eau-mère qui en provient reste comme la précédente sur les tables, et l'on tente, en suivant exactement la même marche, d'obtenir une troisième et dernière récolte. Celle-ci n'est jamais abondante : à peine représente-t-elle, dans les meilleures circonstances, le sixième de la récolte première; souvent, elle échoue complétement.

Lorsque la dernière récolte est enlevée, le salin est, par l'intermédiaire du chauffoir, recouvert d'eau nouvelle qui vient s'ajouter aux eaux-mères dont chaque table reste chargée à la suite de cette récolte. Le marais, en cet état, attend la saison suivante.

III. — *Composition du sel de Lisbonne.*

Je n'ai pu soumettre à l'analyse que deux échantillons de sel de Lisbonne; ce sont les seuls dont la provenance et l'âge me fussent connus d'une manière certaine. Leur analyse a donné les nombres suivants :

Sels de Lisbonne, calculés à l'état sec.

	1re RÉCOLTE DE 1866[1], remis par M. d'Alcochete.	2e RÉCOLTE DE 1865, pris par moi à Lisbonne.
Matières insolubles....	0.045	0.008
Sulfate de chaux......	1.538	1.471
Sulfate de magnésie...	0.565	2.337
Chlorure de magnésium.	0.777	2.151
Chlorure de sodium...	97.075	94.033
	100.000	100.000
Eau...............	2,3 °/o	8,3 °/o

1. Ce sel avait été laissé dans un endroit sec.

De l'examen de ces nombres il résulte que le sel de première récolte de Lisbonne, moins pur que le sel de première récolte de Sétubal, possède une composition voisine de celle des sels du midi de la France, et que le sel de deuxième récolte est plus chargé en composés magnésiens que le sel correspondant de Sétubal et que les sels obtenus en France sur les marais de l'Ouest.

IV. — *Examen du procédé suivi à Lisbonne.*

Cependant, je m'empresse de le reconnaître, je n'attache pas aux deux analyses ci-dessus une valeur absolue, et je crois que la composition des sels de Lisbonne doit beaucoup varier d'une année à l'autre et d'un marais au marais voisin. En effet, d'après les renseignements que j'ai pu recueillir et surtout d'après ceux que je dois à l'obligeance de M. d'Alcochete, les marais de Lisbonne sont d'une conduite difficile et irrégulière. Ces difficultés, ces irrégularités proviennent de ce fait que les eaux-mères ne sont qu'à des intervalles inégaux renvoyées au Tage, et que le sol, recouvert du feutre protecteur, ne paraît pas avoir à Lisbonne, les mêmes facultés d'épuration qu'à Sétubal. Ainsi, vers la fin de la récolte, à Lisbonne, l'eau devient fréquemment mielleuse et ne dépose plus de chlorure de sodium : ce sont les eaux-mères accumulées depuis deux ou trois années qui empêchent toute cristallisation. Il faut alors les rafraîchir avec des eaux plus faibles, et, à la fin de la saison, se résigner à perdre les eaux-mères en les évacuant hors du marais; opération qui, du reste, présente des difficultés à cause de la viscosité de ces eaux [1].

On s'étonnera sans doute de voir les sauniers de Lisbonne attacher à ces eaux-mères une si grande importance, alors que, dans nos salins du Midi, on les rejette sans s'en préoccuper, à moins qu'on ne se propose de les traiter par les procédés de M. Balard. Mais on a bientôt la clef de cette préoccupation, lorsqu'on prend le degré aréomètrique des eaux introduites sur les salins de Lisbonne. Ce degré est, en général, très-bas. Près de Lisbonne, il est vrai,

1. Les sauniers portugais sont absolument opposés à l'emploi de l'eau faible pour laver et purifier les tables.

l'eau du Tage, marque 3°,5 mais au fur et à mesure que l'on remonte le long de la côte ce degré s'abaisse, et au delà de Povoa, il n'est plus guère que de 2° et même 1°,5. Aussi les eaux-mères rendent-elles au saunier les plus grands services, en élevant immédiatement le degré des eaux nouvelles, et n'est-ce qu'à la dernière extrémité qu'il consent à s'en défaire.

Je laisse de côté, bien entendu, les cas où il est conduit involontairement à agir ainsi : celui, par exemple, où, à la suite d'un grand orage survenant au moment de la récolte, la couche de sel est en danger de se redissoudre, et où il faut vivement rejeter à la mer toute la couche liquide; celui où, à la suite de pluies abondantes, il croit devoir faire une coupure dans les chaussées, et évacuer les couches supérieures de l'eau qui recouvre le salin, etc. Ce sont-là des accidents.

Mais la condition régulière est celle-ci : sans doute par suite de ce fait que l'eau placée dans les pièces préparatoires ne séjourne pas assez longtemps au contact du feutre, l'épuration à travers le sol se fait à Lisbonne beaucoup moins vite et moins nettement qu'à Sétubal. Sur les salins de Lisbonne, il serait impossible de conduire la première récolte presqu'à siccité, ainsi que cela se produit à Sétubal; M. d'Alcochete l'a tenté, il n'a pas réussi. Les sels deliquescents contenus dans les eaux-mères doivent donc s'accumuler sur les tables d'une année à l'autre. La formation des eaux grasses prouve qu'il en est réellement ainsi; mais si l'on ajoute que cette formation n'a lieu qu'à la longue, que sur un marais bien surveillé, dont aucun liquide ne peut être évacué, on n'assiste à cette formation qu'au bout de la troisième année, on est forcé de reconnaître que si l'épuration physique des eaux-mères n'a pas à Lisbonne la même importance qu'à Sétubal, elle n'en existe pas moins.

V. — *Commerce du sel à Lisbonne.*

Les sels de Lisbonne ont exactement la même destination que les sels de Sétubal. Ceux-ci sont cependant plus recherchés, et leur pureté plus grande justifie cette préférence. Mais pour les navires qui, après avoir débarqué leur cargaison, et notamment les charbons anglais à Lisbonne, veulent prendre du sel comme

fret de retour, la nécessité de se rendre sur lest de ce port à celui de Sétubal compense quelquefois les avantages que donne au sel de cette localité sa pureté reconnue. Aussi, pour profiter de l'un et l'autre avantage, voit-on souvent des capitaines faire du sel de Lisbonne un chargement partiel et suffisant pour que le navire se tienne, puis se rendre à Sétubal pour y compléter leur chargement.

La production du sel à Lisbonne est, dans les circonstances normales, inférieure à la production de Sétubal. Je n'ai pu me procurer comme renseignement, sur ce point, qu'un chiffre moyen; ce chiffre est celui de 80,000 tonnes pour la production annuelle des marais de Lisbonne.

L'exportation du sel de Lisbonne (quantités et valeurs) est résumée dans le tableau suivant. J'y ai joint les prix moyens du sel à Lisbonne, sous vergues, pour une période de dix années. Ces nombres ont été calculés sur les statistiques officielles, inédites, qu'a bien voulu me communiquer M. le comte d'Avila.

Exportation du sel du port de Lisbonne, en tonnes.

ANNÉES.	TONNES.	VALEURS EN FRANCS.	PRIX DE LA TONNE.	
	tonnes.	fr.	fr.	c.
1855	84.811	808.143	9	53
1856	63.643	1.316.811	20	68
1857	33.657	697.366	20	70
1858	27.677	368.602	13	30
1859	64.352	679.676	10	55
1860	55.835	486.796	8	70
1861	75.104	606.875	8	05
1862	61.133	588.532	9	62
1863	52.760	550.302	10	40
1864	40.920	352.332	8	70
1865	58.799	413.051	7	00
1866	55.566	373.440	6	70
1867	62.382	401.434	6	45

§ IV. — MARAIS SALANTS D'AVEIRO, FIGUEIRA, ETC.

I. — *Disposition générale des marais d'Aveiro, etc.*

La baie d'Aveiro, profondément découpée, affecte, en avant du port de ce nom, la forme d'un ⊢⊣ couché horizontalement, dont l'une des branches remonte vers le Nord, en passant devant la petite ville d'Angeja, et dont l'autre branche redescend vers le Sud, en passant devant Ilhavo et s'arrêtant à Vagos. Dans cette baie dont les points extrêmes, Angeja et Vagos, sont éloignés l'un de l'autre de plus de 25 kilomètres, mais dont la profondeur ne dépasse guère 12 kilomètres, débouchent plusieurs petites rivières, dont la plus importante est le Vouga. A l'embouchure de ces rivières correspondent de petites anses, sur les bords desquelles se développent les marais nombreux auxquels on donne le nom de marais d'Aveiro. C'est en avançant dans les terres, à l'embouchure du Vouga, qu'on les trouve surtout agglomérés.

Le nombre en est considérable, et chacun d'eux mesure une grande étendue. Depuis une quinzaine d'années, en effet, l'industrie saunière a pris à Aveiro et dans les environs un très-grand développement, et l'on n'y compte pas, aujourd'hui, moins de 8,000 hectares consacrés à la fabrication du sel. A Aveiro, le nombre des marais est de 360 environ; à Ilhavo, on en compte une trentaine.

Au sud d'Aveiro, à une distance de 48 kilomètres de cette ville, on rencontre sur la côte un petit port, Figueira, situé à l'embouchure du rio Mondego, où l'industrie saunière est également florissante; cependant la production du sel n'a pas, à Figueira, une importance assez grande pour qu'il soit utile de lui consacrer un chapitre spécial; d'ailleurs, sous le rapport de la disposition générale, du procédé employé, du sel obtenu, ces marais offrent avec ceux d'Aveiro une similitude parfaite.

Il en est de même encore des marais peu nombreux que l'on cultive aux environs de Porto, à Matozinhos, et plus au Nord, à Vianna do Castello. Identiques aux marais d'Aveiro, ces marais,

du reste, ne produisent guère que pour la consommation intérieure du pays.

Aussi me contenterai-je dans ce chapitre, de décrire le procédé que j'ai vu suivre à Aveiro, procédé sur la marche duquel, M. Manoël Mendès Leite a bien voulu me fournir les plus utiles renseignements.

Les marais d'Aveiro ressemblent beaucoup, tant par leur disposition générale, que par le procédé qui y est suivi, aux marais de l'Ouest de la France.

D'un réservoir, chargé d'emmagasiner aux grandes marées l'eau de la mer, la couche liquide passe sous une faible épaisseur, à travers une série de pièces préparatoires où elle se dépouille successivement des matières insolubles, et du sulfate de chaux pour arriver ensuite, au moment où elle va déposer du sel, dans un cristallisoir (œillet de l'Ouest) où le saunier récolte, tous les deux jours, le produit formé, sans permettre, comme à Sétubal ou à Lisbonne, que la couche de sel se solidifie et prenne de l'épaisseur. Ce procédé est, on le voit, celui des sauniers bretons et vendéens.

Dans les marais d'Aveiro, le réservoir est, en général, de grande dimension; on en voit qui mesurent jusqu'à dix hectares. Sa profondeur est de 50 centimètres environ; une vanne permet de le faire communiquer avec la rivière et par conséquent avec la mer. Une autre vanne établit la communication entre le réservoir et la première des pièces préparatoires. Celle-ci, que l'on désigne sous le nom d'*algibe* (citerne), forme une vaste cuvette rectangulaire dont la largeur est égale à celle du salin, dont la longueur est de 25 mètres environ, et dont la profondeur ne dépasse pas $0^m,22$. C'est dans l'*algibe* que commencent à se déposer les matières insolubles. A la suite de l'*algibe* s'allongent, sur les salins, des files parallèles formées chacune de pièces identiques, à travers lesquelles l'eau circule en se concentrant, pou venir enfin aboutir aux cristallisoirs.

Chacune de ces files parallèles dont le nombre est indifférent, et déterminé seulement par la largeur du salin, comprend quatre pièces mesurant environ 20 mètres de longueur sur 12 mètres de largeur et communiquant entre elles au moyen de petites vannes s'ouvrant sur des rigoles qui traversent les chaussées. Ces pièces successives portent le nom de *caldeiros*, *sobre cabeceiros*,

talhos T, et *cabeceiros* C; ces dernières, qui aboutissent immédiatement aux cristallisoirs, sont les plus importantes.

La série des quatre pièces qui se succèdent ainsi sur le salin est destinée à remplir les mêmes fonctions que les fares et les adernes dans nos marais de l'Ouest; mais tandis que, sur ces marais, le paludier se voit forcé, pour utiliser les pentes naturelles du terrain, de faire tourner les fares et les adernes autour de la saline de manière à constituer à celle-ci une ceinture de pièces évaporatoires, le saunier portugais, favorisé par l'inclinaison du sol, peut disposer ces pièces en enfilade et obtenir, par conséquent, un mouvement d'eau plus régulier, plus simple et d'une surveillance plus facile.

A la suite de chacune de ces files de pièces évaporatoires, s'étend un double groupe de surfaces salantes; ces groupes sont, d'ailleurs, isolés l'un de l'autre; chacun d'eux est l'objet d'une alimentation spéciale et constitue un jeu indépendant.

Chaque groupe est composé de six surfaces salantes de même dimension, recevant l'eau au même degré, remplissant au point de vue de la saunaison le même rôle, et disposées trois par trois, en deux rangées parallèles et transversales. On les désigne habituellement sous le nom de *meïos*.

Des six œillets ou meïos que comprend chaque groupe, trois M, M, M, ou bien M', M', M', que l'on désigne sous le nom de *meïos de cima* (d'en haut) servent au dépôt des dernières portions de sulfate de chaux; les trois autres N, N, N, ou bien N', N', N', désignés sous le nom de *meïos de baixo* (d'en bas), sont destinés à recevoir le sel, au fur et à mesure de sa cristallisation. A l'extrémité de chaque file se retrouvent ces deux groupes d'œillets[1] disposés côte à côte, formant ainsi quatre rangées transversales semblables. Pour distinguer ces groupes l'un de l'autre, on désigne sous le nom de *primeira andaina* (1er étage) la série formée par les groupes M', N' placés à l'extrémité du salin; l'autre série formée par les groupes M, N rapprochés des *cabeceiros* est la *secunda andaina* (2e étage). Chaque *meïo* mesure habituellement 12 mètres sur 4m,50; des chaussées de dimensions convenables les séparent, bien entendu, les uns des autres ainsi que des autres pièces du salin.

1. Lorsque le salin est faible il ne comporte qu'un seul de ces groupes.

J'ai indiqué précédemment que la communication entre les pièces préparatoires de chaque série se faisait directement à l'aide de vannes, mais l'alimentation des meïos exige une disposition particulière.

Entre la série des *cabeceiros* et celle des *meïos* du second étage, s'étend, à travers tout le salin et dans toute sa largeur, une rigole R S qui, au moyen de vannes VV, reçoit l'eau évaporée dans les derniers chauffoirs. Sur cette rigole sont branchés de petits canaux *m*, *m*, *m* (*canejas*), qui desservent isolément chacun des *meïos de cima* du 2e étage. Quant aux *meïos de baixo*, ils tirent directement l'eau en sel des *meïos de cima* par les vannes *n*, *n*, *n*.

L'alimentation de l'autre groupe, ou 1er étage (*primeira anduina*), a lieu par un moyen semblable. Entre les deux étages de cristallisoirs règne, sur toute la largenr du salin, une nouvelle rigole R′ S′ qui alimente les *meïos de cima* et par suite les *meïos de baixo* de cet étage, de la même façon que la rigole R S alimente ceux du second, et qui elle-même va chercher dans les *cabeceiros* l'eau concentrée dont elle a besoin, par une rigole TT′ qui se retrouve sur chacune des chaussées séparant les groupes de *meïos* correspondant à une même série de pièces.

II. — *Fabrication du sel à Aveiro.*

Lorsque, vers la fin de septembre, la récolte est terminée, le marais est entièrement recouvert d'eau prise dans le réservoir d'abord et ensuite à la mer; il passe l'hiver en cet état. Au printemps et dès le mois d'avril, le saunier (*marouteiro* ou *marnoto*) procède au nettoyage des salins. Aussitôt que le niveau du Vouga s'est suffisamment abaissé pour que l'on n'ait plus à craindre de voir l'eau douce se mêler à l'eau de la mer, on commence par évacuer, à marée basse, toutes les eaux qui recouvrent le marais. Dans la plupart des cas, les salins sont placés à un niveau tel que cette évacuation peut se faire spontanément. Immédiatement après, on profite de la première grande marée pour remplir complétement le réservoir (*viveiro*). Cette prise d'eau est ensuite renouvelée, aux grandes marées, chaque fois que l'évaporation sur le salin l'exige.

L'écoulement de l'eau étant terminé, on procède au nettoyage

des chauffoirs et des cristallisoirs; à l'aide de râteaux légers, on ramasse sur le sol les boues, les herbes marines, etc., que l'hiver a laissé déposer, et on répare en même temps avec soin les murs et les chaussées.

Aussitôt que ce travail est achevé, les pièces préparatoires sont couvertes d'eau et l'évaporation commence; mais l'appropriation des cristallisoirs n'est pas encore complète, et, avant d'y faire déposer le sel, il faut en panser (*curar*) le fond. A Aveiro, en effet, le fond des cristallisoirs n'est pas protégé par ce feutre végétal (*casco*) qui, à Sétubal, joue un rôle si important.

L'opération qu'il s'agit d'effectuer alors a pour but de créer aux cristallisoirs un fond artificiel, sur lequel le sel puisse être recueilli sans être souillé par la terre qui forme le fond du salin. L'artifice employé consiste à recouvrir cette terre d'une couche mince de sel adhérente au sol. Sur cette couche et pour empêcher que, plus tard, le sel ne vienne s'y souder au fur et à mesure qu'il se déposera de l'eau concentrée, on étend avec adresse, comme une sorte de vernis, une couche très-mince d'argile et de sable. Voici comment est conduite cette opération délicate :

Le *meïo* étant bien propre, on en marche soigneusement le fond à plusieurs reprises, et, à plusieurs reprises également, on le roule à l'aide d'un cylindre en bois (*circio*) de 1^{m},50 de long sur 0^{m},30 de diamètre. Lorsque le sol s'est, de cette façon, bien rassis, on envoie sur chaque *meïo* quelques centimètres d'eau provenant des chauffoirs. En deux ou trois jours, cette eau est évaporée à sec; on la renouvelle deux ou trois fois, en continuant ces mouillures (*molhaduras*), jusqu'à ce que le sol soit recouvert d'un tapis de sel bien uniforme. Quelquefois on renforce encore cette couche de sel en laissant séjourner sur les *meïos*, pendant quelques jours, une quantité notable d'eau concentrée que l'on renvoie ensuite, aux chauffoirs lorsque la couche déposée paraît avoir une épaisseur convenable au but qu'on se propose.

Quoi qu'il en soit, lorsque le meïo est recouvert d'une épaisseur de sel suffisante, le saunier laisse sécher le tapis salin pendant un jour ou deux, puis il le recouvre de l'argile qui doit empêcher l'adhérence entre cette première couche et le sel de la récolte. C'est une opération difficile que celle qui consiste à répandre bien également cette couche, mince d'argile; les

sauniers d'Aveiro ont, pour l'exécuter, des tours de main ingénieux: je citerai celui-ci qui m'a le plus frappé.

A l'entrée du *meïo,* près de la rigole ou *caneja* qui amène l'eau de la pièce précédente, le saunier fait un batardeau dans lequel il laisse arriver une certaine quantité d'eau concentrée. Dans cette eau il délaye avec soin, pour chaque meïo, une trentaine de litres d'argile bleuâtre (*audula*) et en fait une bouillie aussi homogène que possible ; puis, rompant brusquement la digue de son batardeau, il laisse écouler sur la couche de sel l'eau concentrée qui entraîne et dissémine sur toute la surface l'argile qu'elle tenait en suspension ; cette argile se dépose rapidement, et la petite quantité d'eau à laquelle elle était mélangée s'évapore. Sur cette couche d'argile et de sel le saunier étend alors, et de la même façon, une couche mince de sable blanc et fin, et le salin est prêt à entrer en travail.

La marche suivie pour la fabrication du sel à Aveiro ressemble beaucoup à celle suivie sur les marais de l'ouest de la France. Chaque jour, on donne de l'eau aux pièces préparatoires, en ayant soin que dans toutes la hauteur d'eau se maintienne à 15 centimètres environ. L'eau arrive ainsi concentrée dans la dernière pièce ou *cabeceiro.* De là elle passe dans les *meïos*, comme dans l'Ouest elle passe des adernes dans les œillets. Mais à ce moment intervient une différence sérieuse entre les deux procédés. En effet, les *meïos* de chaque étage ne sont pas tous destinés à jouer le même rôle. Dans les *meïos de cima* l'eau achève de s'affiner; c'est là que se termine le dépôt de sulfate de chaux (*codejo*) commencé dans les *cabeceiros.* Mais il ne faut pas permettre que le sel s'y dépose; c'est seulement dans les *meïos de baixo* que doit avoir lieu la récolte. Celle-ci, lorsque la saison marche bien, se fait tous les deux jours de la manière suivante: le saunier ramasse avec soin (et il faut qu'il soit habile) et ramène au milieu du cristallisoir le sel déposé tant à la surface qu'au fond de celui-ci. L'outil dont il fait usage est un racle de sapin mince et léger, mesurant 80 centimètres sur 22 centimètres, et dont le manche a 4 mètres de longueur environ. Le sel, ainsi récolté sous une épaisseur d'eau notable, est mis ensuite à égoutter sur les chemins pendant quelques heures, puis transporté aux meules sur les grandes chaussées.

Si la saison est bonne, chaque *meïo de baixo* fournit, tous les

deux jours, 30 à 50 kilogrammes de sel. La récolte dure trois mois environ, et la production annuelle s'élève, pour chaque cristallisoir, au chiffre moyen de deux tonnes et demie. C'est un rendement de près de 500 tonnes par hectare de surface salante.

III. — *Composition des sels d'Aveiro.*

J'ai fait plusieurs analyses de sels d'Aveiro; elles m'ont démontré que les sels de cette région présentent une grande régularité de composition. Je donnerai, d'abord, les nombres obtenus avec des sels enflaconnés peu de temps après leur récolte, et dont, par suite, les sels déliquescents n'ont pu s'écouler. C'est d'après de tels échantillons qu'il convient toujours de fixer la nature de produits de ce genre.

Sels d'Aveiro calculés à l'état de siccité.

	RÉCOLTE 1865.	RÉCOLTE 1866.
Matière insoluble......	0.067	0.472
Sulfate de chaux......	0.645	0.575
Sulfate de magnésie...	0.903	0.861
Chlorure de magnésium.	1.134	1.285
Chlorure de sodium....	97.251	96.807
	1001000	100.000
Eau................	4,9 °/o	8,2 °/o

Ces nombres établissent entre les sels d'Aveiro et nos sels de l'Ouest une grande analogie de composition; dans les uns et dans les autres la proportion des sels magnésiens est sensiblement la même: cependant les sels d'Aveiro ont sur les sels de l'Ouest un avantage décidé quant à la proportion des matières terreuses. Cette proportion en effet, dans les sels de l'Ouest, atteint souvent 2 et 3 pour cent; dans les sels d'Aveiro, elle ne dépasse jamais un demi pour cent. Cette absence de matières insolubles est caractérisée par la grande blancheur de ces sels.

Aux analyses qui précèdent il m'a semblé intéressant d'en

joindre d'autres faites sur des échantillons qui, abandonnés en meules sur les chaussées du marais, avaient eu le temps de se ressuyer, et par suite de perdre, par l'écoulement, la plus grande partie de leurs sels déliquescents. Ces sels récoltés en 1864 et 1865 n'ont été enflaconnés et analysés qu'en 1866.

	RÉCOLTE 1864.	RÉCOLTE 1865.
Matière insoluble......	0.327	0.396
Sulfate de chaux......	0.697	0.640
Sulfate de magnésie...	0.218	0.165
Chlorure de magnésium.	0.843	0.181
Chlorure de sodium...	97.915	98.618
	100.000	100.000
Eau................	3,9 %	4,5 %

Les analyses ci-dessus démontrent avec quelle facilité les sels d'Aveiro se purifient par le séjour en meules; ils se rapprochent alors par leur composition des sels du midi de la France et même des sels de Sétubal.

IV. — *Examen du procédé suivi à Aveiro.*

Ainsi que je l'ai dit plus haut, ce procédé ne présente qu'une particularité remarquable : c'est la confection, sur les cristallisoirs, d'un sol artificiel destiné à protéger le dépôt du sel. Cette opération a été expliquée précédemment dans ses détails; son importance se comprend aisément et il me paraît inutile d'insister davantage sur ce point. J'ajouterai seulement qu'à Aveiro la récolte se fait sous une couche d'eau plus épaisse que sur les marais de la Bretagne et de la Vendée.

V. — *Commerce du sel d'Aveiro, Figueira, etc.*

La plus grande partie des sels récoltés soit à Aveiro, soit à Figueira, est conduite par navires caboteurs à Porto; c'est par ce port que se fait la véritable exportation du sel récolté dans le nord du Portugal.

Les sels d'Aveiro et de Figueira sont acquis principalement par le Brésil et par les États-Unis. Chacune de ces nations absorbe les deux cinquièmes des quantités exportées; le cinquième restant est pris par l'Angleterre, la Russie, la Suède et la Norwége. Ce sel est recherché pour la pêche, et surtout pour la petite pêche; il est également l'objet d'un commerce important pour la consommation intérieure du Portugal.

La production des marais d'Aveiro et de Figueira a été, en :

	Aveiro.	Figueira [1].
1862.................	54.000 tonnes.	16.500 tonnes.
1863.................	56.250 —	20.250 —
1864.................	58.500 —	21.000 —

L'exportation de ces sels par les ports d'Aveiro et de Figueira est très-peu considérable; j'ai cru cependant devoir la faire connaître dans les deux tableaux suivants, en y joignant le prix moyen de la tonne, pour une période de dix années.

Exportation du sel d'Aveiro par la barre de ce port.

ANNÉES.	TONNES.	VALEURS EN FRANCS.	PRIX DE LA TONNE.
		fr.	fr. c.
1855	174	2.236	12 80
1856	1021	13.666	13 30
1857	»	»	—
1858	417	2.150	5 10
1859	»	»	—
1860	114	1.111	9 75
1861	458	3.450	7 50
1862	542	2.500	4 60
1863	537	4.129	7 65
1864	237	1.480	6 25
1865	72	500	7 00
1866	»	—	—
1867	»	—	—

1. Je dois ces nombres à l'obligeance de MM. Torlades et Cie, de Lisbonne.

Exportation du sel de Figueira par la barre de ce port.

ANNÉES.	TONNES.	VALEURS EN FRANCS.	PRIX DE LA TONNE.
		fr.	fr. c.
1855	2.488	13.447	5 40
1856	4.683	44.607	9 52
1857	1.051	23.983	22 80
1858	1.150	9.266	8 00
1859	2.408	15.063	6 25
1860	2.634	19.243	7 30
1861	2.143	15.381	7 17
1862	1.753	31.196	17 80[1]
1863	5.137	39.300	7 65
1864	2.309	12.663	5 91
1865	4.338	22.818	5 26
1866 1867	Je n'ai pu me procurer les chiffres correspondant à ces deux années.		

1. L'élévation de ce prix qui ne se manifeste qu'à Figueira est inexplicable, je la donne telle que je l'ai trouvée dans les statistiques officielles.

C'est par la barre de Porto que se font véritablement les exportations des sels d'Aveiro et de Figueira; le tableau suivant fait connaître ces exportations (quantités et valeurs), en même temps que le prix moyen de la tonne, sous vergues, de 1855 à 1867. Les nombres ont été calculés d'après les statistiques officielles qui m'ont été communiquées par M. le comte d'Avila.

Exportation du sel par la barre de Porto (sel d'Aveiro).

ANNÉES.	TONNES.	VALEURS EN FRANCS.	PRIX DE LA TONNE.
		fr.	fr. c.
1855	11.250	173.572	15 40
1856	10.343	168.522	16 25
1857	7.915	193.911	24 50
1858	19.520	72.016	3 70
1859	18.326	182.933	9 90
1860	25.870	159.694	6 15
1861	15.980	231.966	14 50
1862	15.153	219.766	14 50
1863	16.704	232.138	13 90
1864	10.178	115.838	11 35
1865	27.890	323.688	11 50
1866	13.787	120.850	8 75
1867	13.061	141.383	10 70

§ V. — MARAIS SALANTS DES ALGARVES.

Sur la côte méridionale du Portugal, à l'extrémité de la province des Algarves, on rencontre, à l'embouchure de cinq ou six petites rivières, des marais salants sans grande importance, dont le nombre atteint cependant 150 environ, mais dont les produits sont consommés dans le pays, et principalement utilisés pour la petite pêche, par les marins portugais.

Le procédé suivi sur ces marais où la beauté du climat favorise d'une façon singulière les opérations est, m'a-t-on assuré, celui de Sétubal. Mais je n'ai pu m'en assurer par moi-même, les circonstances ne m'ayant pas permis de visiter cette partie du Portugal, Je n'ai, non plus, aucune donnée sur le chiffre de production de ces marais, aucune sur la valeur de leurs produits. Je sais seulement que cette production est limitée, et ne peut affecter, d'une manière sérieuse, les chiffres que j'ai indiqués au § II pour la production générale du Portugal.

Cependant une modeste exportation, faite par les ports situés sur la côte des Algarves, a permis à l'administration des douanes de joindre le tableau suivant au tableau général de l'exportation du sel portugais.

Exportation du sel de la province des Algarves par les ports de Olhaõ, Lágos, Villa-Nova de Portimaõ, Fàro, et Villa-Réal de San-Antonio.

ANNÉES.	TONNES.	VALEURS EN FRANCS.	PRIX DE LA TONNE.	OBSERVATIONS.
	tonnes.	fr.	fr. c.	
1855.	»	»	»	
1856.	»	»	»	
1857.	88	1.111	12 80	Par Fàro.
1858.	»	»	»	
1859.	»	»	»	
1860.	»	»	»	
1861.	54	894	15 50	Par Olhaô.
1862.	142	1.244	8 74	Par Villa-Nova de Portimaô, Fàro et Villa-Réal de San-Antonio.
1863.	346	7.331	21 00	Par Olhaô, Villa-Nova de Portimaô, Fàro et Villa-Réal de San-Antonio.
1864.	119	2.596	17 00	Id.
1865.	47	644	13 70	Par Làgos et Villa-Nova de Portimaô.

§ VI. — RÉSUMÉ. — CONCLUSIONS.

En terminant cette longue étude des procédés suivis en Portugal pour la fabrication du sel, il ne sera pas sans intérêt d'en résumer les caractères principaux, et de rechercher quelles conséquences on en peut tirer soit au point de vue spécial de l'industrie portugaise, soit au point de vue de l'industrie saunière en général, et surtout celle de notre pays.

Si nous fixons notre attention sur les procédés suivis à Sétubal, un fait capital et singulier nous frappe tout d'abord; sur un espace déterminé est introduit, presque d'un seul coup, tout le volume d'eau qui, dans le cours de la saison, peut y être évaporé; en quelques semaines, sous l'action du soleil et du vent, cette eau est conduite jusqu'à siccité, et le saunier obtient une récolte abondante et d'excellente qualité, alors qu'il ne devrait avoir qu'un produit renfermant 15 à 20 °/₀ au moins de sels magnésiens. C'est la première récolte, la seule qui doive nous arrêter; les deux autres, en effet, sont obtenues dans des conditions qui rappellent beaucoup les méthodes ordinaires.

Dans le cours de ce travail j'ai donné l'explication probable de ce fait anormal, et je ne la reproduirai pas. Je dois, cependant, insister un instant sur son importance et rechercher, d'une part, si, dans l'emploi de ce procédé, il y a place à la critique; d'une autre, si, dans sa mise en œuvre apparaît quelque application utile à l'industrie de notre pays. Sur le premier point les résultats parlent pour nous, le procédé est parfait, et les sauniers de Sétubal n'ont qu'à suivre scrupuleusement cette méthode que la nature a mise entre leurs mains et où elle a tout fait pour eux. On peut se demander pourtant s'il y aurait avantage à substituer à cette évaporation sur place d'une eau immobile l'évaporation d'une eau circulant dans des pièces préparatoires; je ne le pense pas. A Sétubal, sur un mètre carré de surface salante :

La première récolte mesurant	4 cent.	de hauteur pèse	33 kil.
Le deuxième.	2	id.	18 »
La troisième.	1	id.	9 »
Si bien que le total par mètre carré de cristallisoir pèse :			60 kil.

Dans aucun procédé, la cristallisation ne produit davantage, et l'importance du résultat devient manifeste, si l'on songe qu'à Sétubal l'étendue des pièces préparatoires n'est guère supérieure à celle des cristallisoirs, tandis que, dans les autres régions salicoles, elle est quelquefois décuple de celle-ci.

Du reste, dans cette question, l'exemple des marais de Lisbonne est un enseignement; là, les pièces préparatoires sont vastes et soignées, la disposition se rapproche de celle accoutumée sur nos marais du Midi, et cependant les résultats sont moins brillants, le rendement par hectare est plus faible, et le sel est moins pur qu'à Sétubal, quoique le fond y soit, comme dans cette région, couvert du feutre végétal protecteur. Ce résultat provient-il de la nature du sol? provient-il, au contraire, de la marche suivie pour l'évaporation des eaux? C'est ce que de nouvelles études pourraient seules démontrer. Quant à présent, il n'y a aucun motif de croire qu'il faille appliquer à Sétubal les procédés de Lisbonne; si quelque chose était à tenter, ce serait, au contraire, l'application à Lisbonne du procédé de Sétubal, c'est-à-dire l'évaporation directe et complète de l'eau sur le *cozimento*.

Dans l'un ou l'autre de ces deux procédés, entre lesquels il y a, malgré tout, de nombreux points de contact, y a-t-il quelque perfectionnement applicable aux salins français? A priori, cela ne semble pas être. Tout d'abord, ni Sétubal, ni Lisbonne n'ont rien à apprendre à nos sauniers du Midi. Les puissantes compagnies entre les mains desquelles prospèrent les salins de cette région, en introduisant largement l'élément scientifique dans leurs exploitations, ont transformé la fabrication du sel en une vaste opération analytique, et si, sur ces salins la production est moindre que sur les salins de Portugal, c'est à la puissance du soleil qui chauffe ces derniers, et non aux procédés employés qu'il le faut attribuer.

Mais, pour nos marais de l'Ouest, il n'en est pas de même, et il faut rechercher avec soin si, dans tout ce que nous avons décrit, gît quelque perfectionnement qui leur soit applicable. A priori, la comparaison semble bien difficile entre le climat si chaud de Sétubal ou de Lisbonne, et le climat, si souvent pluvieux et froid des côtes de notre Océan. On ne saurait, cependant, s'empêcher de penser au service que rendrait le tapis végétal qui recouvre

les salins portugais, s'il était possible de l'utiliser sur les cristallisoirs de l'Ouest.

Lorsqu'on étudie avec soin les marais de l'ouest de la France, on est assez surpris de reconnaître qu'un feutre analogue au feutre du midi et au feutre portugais existe sur ces marais. On l'y rencontre en pleine végétation dans les pièces préparatoires, mais sur les cristallisoirs il ne se retrouve plus. Au printemps, le paludier, ignorant sans doute les services que ce feutre pourrait lui rendre en permettant la récolte d'un sel blanc et pur de matières terreuses, travaille l'œillet de manière à y détruire toute trace de végétation et à lui constituer un fond d'argile et de sable dont le sel récolté reste toujours souillé. Il y aurait un intérêt évident à tenter une expérience dans le sens opposé, et à essayer une récolte au moins sur un fond recouvert de feutre; le but à atteindre, la fabrication d'un sel blanc et propre, qui reprendrait bientôt faveur sur les marchés, justifierait largement toute tentative faite dans ce sens.

Le procédé suivi à Aveiro est d'une régularité parfaite, et la conduite des marais y est extrêmement soignée. Cependant on ne peut qu'être surpris de voir, sous ce climat si semblable à celui de Lisbonne et de Sétubal, le saunier récolter son sel tous les deux jours. La pluie, en effet, ne semble pas devoir être beaucoup plus fréquente dans l'une que dans les deux autres régions. Sans doute, si l'on permettait au sel d'acquérir de l'épaisseur sur les cristallisoirs, le rendement ne serait peut-être pas beaucoup plus considérable, puisqu'il atteint 500 tonnes par hectare de table salante, mais les opérations se bornant alors à 2 ou 3 récoltes, au lieu de 40 à 50, la main-d'œuvre se trouverait notablement diminuée. Cependant c'est une opinion bien arrêtée parmi les hommes les plus compétents et les plus éclairés d'Aveiro que la méthode de Sétubal est inapplicable dans cette région. C'est là une question qu'une étude prolongée sur le salin pourrait seule résoudre, et sur laquelle nous ne saurions dès à présent établir notre opinion.

Mais, du procédé d'Aveiro, ce que nous pouvons peut-être retenir au profit des sauniers de l'ouest de la France, c'est la confection d'un sol artificiel sur les cristallisoirs. Peut-être, tentée par des sauniers intelligents, cette opération donnerait-elle dans l'Ouest d'excellents résultats, peut-être ce sol artificiel

résisterait-il à l'action des pluies, et parviendrait-on soit par son emploi, soit par l'emploi du feutre végétal, à la production d'un sel blanc, propre, et peu chargé en matières terreuses. S'il en était ainsi, nos sels de l'Ouest reprendraient sans doute cette faveur qu'ils n'ont perdue qu'à cause de la grande quantité de matières terreuses qu'ils renferment. Rien, en effet, n'empêcherait alors qu'ils pussent lutter contre les sels d'Aveiro et les deuxièmes récoltes de Sétubal et de Lisbonne. C'est ce dont il est facile de se rendre compte en mettant en regard, comme dans le tableau ci-contre, la composition de quelques sels de l'Ouest et celle des sels portugais dont j'ai publié plus haut l'analyse.

Composition comparée des sels de l'Ouest de la France et des sels portugais de 2e récolte.

Pour cent parties de sel sec.

PROVENANCE DES SELS.	Matières terreuses.	Sulfate de chaux.	Sulfate de magnésie.	Chlorure de magnésium.	Chlorure de sodium.
Ouest. Tremblade. (M. Dony)..	0.586	0.549	0.909	1.088	96.868
Ouest. Tremblade. (M. Fournet).	2.000	1.890	1.313	1.575	93.222
Ouest. Marennes. (M. Fournet).	3.120	1.721	1.636	0.813	92.610
Sétubal. (2e récolte. 1865)...	0.030	2.081	1.881	1.824	94.124
Sétubal. (2e récolte. 1865)....	0.047	1.298	1.789	2.000	94.866
Lisbonne. (2e récolte. 1865)..	0.008	1.471	2.337	2.151	94.033
Aveiro (1865)..............	0.067	0.645	0.903	1.134	97.251
Aveiro (1866)..............	0.472	0.575	0.861	1.285	96.807

L'examen de ce tableau suffit à établir pourquoi, étant admis que la valeur des poissons salés augmente de 1 à 2 °/₀ quand ils sont salés de sel blanc, les sels portugais, qui ne contiennent jamais au delà de 0,5 °/₀ de matières terreuses, sont préférés à nos sels de l'Ouest qui contiennent jusqu'à 2 et 3 °/₀ de ces matières, qui, par suite, sont colorés et communiquent au poisson une teinte foncée.

La faveur dont jouissent les sels portugais auprès des navigateurs est aussi facile à expliquer, mais par une autre cause pour les sels de première récolte. Sans doute, en premier lieu et sous le rapport de la pureté, ces sels ont souvent l'avantage sur les sels de nos marais du Midi, ainsi que le montre le tableau ci-dessous :

Composition comparée des sels du midi de la France et des sels portugais de première récolte.

	MIDI DE LA FRANCE[1]. DONI.			SETUBAL.		LISBONNE.
	I.	II.	III.	1re récolte. 1865.	1re récolte. 1865.	1865.
Matières insolubles...	0.120	0.138	1.107	0.015	0.022	0.045
Sulfate de chaux.....	0.189	0.892	0.377	1.087	1.107	1.538
Sulfate de magnésie..	0.279	0.552	0.219	0.268	0.477	0.565
Chlorure de magnésium	1.362	0.490	0.777	0.097	0.434	0.777
Chlorure de sodium...	97.950	97.928	97.520	98.533	97.960	97.075
	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000

1. *Enquête sur les sels*, tome II, page 71. — Ces sels avaient un an de gravier et avaient été lavés par les pluies d'automme.

Mais la situation géographique des ports portugais, que les navigateurs rencontrent tout d'abord sur leur route, la nécessité, au contraire, de franchir le détroit de Gibraltar pour atteindre nos salins de la Méditerranée, l'allongement qui en résulte pour la route maritime, expliquent bien mieux encore la préférence que ces navigateurs accordent aux marais de Sétubal et de Lisbonne.

La différence des prix, d'ailleurs, pas plus que la plus ou moins grande pureté, ne serait une cause suffisante pour justifier cette préférence; c'est ce qui ressort du tableau suivant où se trouvent rapprochés les prix moyens de la tonne de sel prise sous vergues, dans les ports du Portugal, dans les ports de la Méditerranée ou dans ceux de l'Océan, pendant une période de dix années.

Tableau du prix de la tonne de sel, sous vergues en France et en Portugal, de 1855 à 1867.

Années.	Sétubal [1]. Blanc.	Lisbonne [1]. Blanc.	Aveiro [1]. Blanc.	Bouches-du-Rhône [2]. Blanc.	Loire-Inférieure [2]. Gris.	Vendée [2]. Gris.
	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c. fr. c.	fr. c.
1855	9 55	9 53	15 40	—	9 35 à 14 05	16 90
1856	20 48	20 68	16 25	11 40	9 35 à 12 50	17 70
1857	15 83	20 70	24 50	11 40	10 95 à 14 05	17 40
1858	12 36	13 30	8 70	12 30	10 95 à 15 00	18 50
1859	10 62	10 55	9 90	9 90	10 95 à 15 00	19 50
1860	11 60	8 70	6 15	8 90	18 75 à 46 90	32 90
1861	10 04	8 05	14 50	8 30	15 62 à 31 25	38 70
1862	13 90	9 62	14 50	10 10	12 50 à 18 75	21 10
1863	14 35	10 40	13 90	9 10	7 20 à 8 75	14 30
1864	11 49	8 70	11 35	9 40	7 80 à 8 75	12 00
1865	10 25	7 00	11 50	9 30	7 80 à 8 45	11 90
1866	10 00	6 70	8 75	—	—	7 50
1867	10 62	6 45	10 70	—	—	—

1. Ces nombres représentent le prix moyen des 1re, 2e et 3e récoltes.
2. *Enquête sur les sels*, tome III, page 176.

En résumé, la nature a fait aux côtes du Portugal une situation exceptionnelle pour la fabrication du sel marin; une expérience séculaire a donné aux sauniers de ce pays une habileté incomparable; en quelques points des procédés singuliers d'une efficacité inattendue, et inimitables probablement en d'autres régions, se sont produits spontanément, et de cet ensemble de circonstances est résultée une industrie puissante, parfaitement entendue et organisée, dont le commerce portugais sait faire pour le pays un précieux instrument de richesse.

PROCÈS-VERBAL DES EXPÉRIENCES

FAITES

au Conservatoire des Arts et Métiers

SUR UNE POMPE A VAPEUR AUTOMATIQUE

SYSTÈME CAMERON.

PAR M. H. TRESCA.

On a construit, dès différentes époques, des machines à vapeur dans lesquelles la distribution se fait automatiquement par le jeu des pressions successives agissant sur les appendices du tiroir de distribution. La pompe de M. Cameron est formée de la réunion d'une de ces machines à vapeur et d'une pompe placée dans le même axe, de manière que les deux machines ont la même tige et la même course.

On évite ainsi, tant pour la machine à vapeur que pour la pompe, toutes les communications de mouvement à la pompe ou au volant, qui se trouve supprimé. La distribution s'obtient d'ailleurs d'une manière très-simple au moyen de heurtoirs disposés dans chacun des couvercles du cylindre à vapeur. Ces heurtoirs forment soupapes, appuyées habituellement par la pression de la vapeur et fermant alors toute communication.

Vers la fin de chacune de ses courses, le piston repousse l'un des heurtoirs, et la vapeur vient alors agir sur un piston spécial contenu dans la boîte à tiroir, et qui alterne le jeu des orifices d'admission et d'échappement.

Pour la mise en train, un levier extérieur permet, au moyen d'une béquille intérieure, de déplacer d'une manière convenable le petit arbre qui porte les deux pistons de la boîte à tiroir, un à chacune de ses extrémités.

L'ensemble de ces dispositions est simple, et nous nous sommes proposé, à la demande des constructeurs, MM. Tangye frères, d'examiner dans ses résultats économiques l'emploi de cette machine, dont le premier inconvénient consiste à n'utiliser la vapeur qu'à pleine pression, c'est-à-dire dans des conditions peu favorables. La simplicité de l'installation est ici compensée par une moins bonne utilisation de la vapeur, et c'est seulement pour les installations provisoires ou portatives que la question mérite un sérieux examen.

La pompe mise à notre disposition par M. Tangye était caractérisée par les dimensions suiaantes :

Course du piston à vapeur (2 pieds anglais).	0^{m},6093
Diamètre du cylindre à vapeur (8 pouces 1 ligne). .	0 ,2065
Surface complète du piston.	0^{mq},0335
Surface du piston sans la tige.	0^{mq},0329
Surface moyenne soumise à l'action de la vapeur. .	0 ,0332
Course du piston à eau.	0^{m},6093
Diamètre du cylindre à eau (6 pouces).	0 ,1523
Surface complète du piston.	0^{mq},0182
Surface du piston sans la tige.	0 ,0176
Surface moyenne déterminant le débit.	0 ,0179
Volume développé par coup de piston.	10^{l}, 909

L'appareil a été installé dans la salle des expériences de mécanique au Conservatoire, et on l'a mis en relation, d'une part avec la chaudière à vapeur, d'autre part avec la canalisation qui permet d'envoyer l'eau du bassin inférieur, en maçonnerie, dans les bassins supérieurs, en tôle, disposés à différents étages, dans l'ancienne tour.

L'eau débitée était jaugée dans ces derniers réservoirs, de grande capacité; la hauteur correspondante était mesurée directement depuis le niveau d'aspiration jusqu'au niveau moyen dans le réservoir. Un compteur de tours enregistrait le nombre des coups de piston. Enfin un indicateur de pression permettait d'obtenir les diagrammes du travail dépensé.

Cette installation un peu complexe a exigé un certain nombre d'essais préparatoires, dont nous faisons abstraction dans le présent procès-verbal de toutes les expériences définitives.

NUMÉROS des expériences.	DATES des expériences.	INDICATION du réservoir.	DURÉE de l'expérience.	NOMBRE de courses doubles.	VOLUME mesuré.	VOLUME d'eau développé.	RENDEMENT en volume.	HAUTEUR de l'élévation.	TRAVAIL en eau élevée.	TRAVAIL en eau élevée par seconde.	NOMBRE des diagrammes.
			secondes.		mc.	mc.		m.	km.	km.	
1	5 mars. . .	2	3700	686.5	13.872	14.979	0.926	7.27	100849	27.24	4
2	5 mars. . .	2	1720	647	13.872	14.117	0.982	7.28	100988	58.71	3
3	5 mars. . .	2	1285	630	13.872	13.646	1.009	7.28	100988	78.59	3
4	5 mars. . .	4	1180	643	13.978	14.029	0.996	13.35	186606	158.14	3
5	9 mars. . .	4	1780	673	13.978	14.684	0.951	13.35	186606	104.83	3
6	9 mars. . .	4	5521	639.5	13.978	13.953	1.001	13.37	186886	35.79	4
7	9 mars. . .	3	1471	650	13.872	14.182	0.981	10.36	143714	97.70	2
8	9 mars. . .	3	2535	669	13.872	14.597	0.950	11.18	155158	61.20	3
9	9 mars. . .	1	1648	628	13.376	13.702	0.976	4.30	57517	34.90	4
10	9 mars. . .	1	1055	596	13.376	13.004	1.028	4.30	57517	54.51	3
							0.982				32

Ce tableau, considéré isolément, montre déjà que le rendement en volume est très-satisfaisant, puisqu'il correspond à 0,982 du volume développé par le piston de la pompe ; le fonctionnement alternatif est très-régulier, et les petites secousses qui se produisent vers les points morts n'empêchent en aucune façon le jeu des soupapes d'aspiration et de refoulement, bien que le nombre des coups de pistons se soit élevé jusqu'à 66 par minute dans l'une des expériences.

Pour apprécier l'effet utile de la machine, il faut tenir compte tout à la fois du travail réellement dépensé sur le piston moteur et de la quantité de vapeur nécessaire pour produire ce travail. Nos investigations n'ont porté que sur le premier point, parce que l'on connaît suffisamment la dépense relativement grande qu'entraîne l'emploi de la vapeur à pleine pression.

Nous avons indiqué dans un tableau spécial tous les éléments relatifs à cette détermination.

L'indicateur dont on s'est servi était muni d'un ressort fléchissant de 14,80 millimètres par atmosphère, et, eu égard aux dimensions du cylindre en diamètre et en longueur, chaque millimètre carré des diagrammes représentait 0,258 kilogrammètres.

On a d'ailleurs tenu compte pour chacun d'eux de la petite variation des abscisses, ainsi qu'on le voit par l'exemple suivant de l'un des calculs.

Expérience N° 1.

AIRES des diagrammes.	LONGUEUR de l'abscisse.	ORDONNÉES MOYENNES.
	mill.	mill.
890	54.25	16.40
910	54.00	17.03
1050	55.75	18.83
1040	55.25	18.82
972.5	Ordonnée moyenne.........	17.77

Pression effective moyenne en atmosphères, 0.0675 × 17.77 1^{at}.199
Surface du piston.................................. 832^{cq}
Déplacement du piston par seconde........................ 0^{m}.226
Travail indiqué par seconde. 1^{at}.199 × 832^{cc} × 1.033^{m} × 0.226 92^{km}.95

Le cylindre moteur ne développerait, dans ces conditions, pas moins de 1,24 cheval.

NUMÉROS des expériences.	NUMÉROS des diagrammes.	PRESSION à la chaudière.	SURFACE des diagrammes.	PRESSION moyenne correspondante.	TRAVAIL correspondant par seconde.	TRAVAIL en eau élevée par seconde.	INDICATION du réservoir.	EFFET UTILE.
		at.	m/m²	at.				
1	1	4.70	890	1.198	92.95	27.24	2	0.293
	2	5.00	910					
	3	5.30	1050					
	4	5.10	1040					
2	5	4.80	1270	1.497	235.80	58.71	2	0.249
	6	4.75	1230					
	7	5.00	1390					
3	8	4.85	1540	1.707	349.71	78.59	2	0.224
	9	4.80	1480					
	10	4.80	1510					
4	11	4.90	2130	2.362	537.89	158.14	4	0.294
	12	5.00	2090					
	13	4.80	2080					
5	14	4.70	1770	2.177	343.91	104.83	4	0.304
	15	5.00	1930					
	16	4.90	1930					
6	17	5.10	1400	1.841	94.17	35.79	4	0.380
	18	5.20	1460					
	19	5.15	1540					
	20	5.20	1550					
7	21	4.80	1560	1.803	330.70	97.70	3	0.295
	22	4.65	1540					
8	23	5.00	1410	1.838	202.71	61.20	3	0.301
	24	5.10	1450					
	25	5.10	1420					
9	26	5.10	970	1.175	187.1	34.90	1	0.186
	27	4.85	890					
	28	5.10	960					
	29	5.10	960					
10	30	4.50	1060	1.264	298.47	54.51	1	0.182
	31	4.50	1070					
	32	4.80	1140					

Il faut d'abord remarquer que le mécanicien n'a d'autre moyen de régler la vitesse de la machine qu'en ouvrant ou en fermant la valve d'admission, en telle sorte que la pression de la vapeur n'est alors utilisée qu'en partie, et cet inconvénient, résultant

d'un étranglement quelquefois considérable de la vapeur, vient encore s'ajouter à ceux que nous avons déjà signalés au point de vue des conditions défavorables de son emploi sans détente.

Les diagrammes que nous reproduisons montrent toute l'influence de cette disposition : la pression restant la même dans la chaudière, celle qui se transmet au piston va nécessairement en diminuant à mesure que les résistances à vaincre deviennent moindres. On voit, d'ailleurs, par ces diagrammes, que l'admission se fait bien, lorsque l'orifice d'admission est libre, mais qu'il n'en est plus ainsi en cas d'étranglement, cette circonstance se manifestant par un constant décroissement de la pression indiquée pendant l'admission, et par une constante augmentation de la contre-pression pendant la période d'échappement.

Pour élévation d'eau à $4^{m},30$ par exemple, la pression théorique devrait être réduite par l'étranglement à 0,50 atmosphère, si le piston à vapeur était de même section que le piston à eau; et en tenant compte des sections réelles, elle devrait être abaissée à $0,50 \times \frac{18}{30} = 0,27$ atmosphère au-dessus de la pression atmosphérique, alors que la chaudière pourrait fournir de la vapeur à 5 atmosphères.

Nous voyons par le tableau du rendement que le rapport entre le travail effectif en eau élevée et le travail réellement dépensé sur le piston de la machine a varié, suivant les circonstances, de 0,182 à 0,380 : moyenne 0,27 seulement pour l'ensemble des expériences faites.

Si l'on remarque que les plus faibles rendements sont relatifs au réservoir inférieur, on peut largement compter sur une moyenne de 0,30 toutes les fois que l'eau doit être élevée à 7 mètres et au-dessus. La vitesse de régime n'a pas varié d'une manière suffisante pour que son influence puisse être appréciée.

C'est d'après cette dernière base que nous devons spécifier les conditions dans lesquelles la machine peut être recommandée.

Une machine à vapeur ordinaire, d'aussi petite dimension, rend en effet utile, mesuré sur l'arbre, environ 0,75 du travail indiqué; une pompe qui y serait attelée ne peut réellement utiliser beaucoup plus de 0,50 du travail moteur effectif. Ces deux appareils doivent donc, dans les circonstances ordinaires, cor-

respondre à un rendement de $0,75 \times 0,50 = 0,375$, c'est un quart en plus que la pompe Cameron, considérée dans les conditions les plus favorables.

Si cependant cette différence était ainsi limitée, les avantages résultant de la facilité d'installation, et la diminution très-grande des frais d'établissement pourraient établir une compensation plus que suffisante dans le cas où l'élévation de l'eau doit être portée au maximum, comme, par exemple, pour l'alimentation d'une chaudière à vapeur ou celle d'un réservoir très-élevé.

Mais il ne faut pas oublier que la vapeur elle-même est très-mal utilisée dans ce petit cylindre à grande course et par conséquent à grandes surfaces refroidissantes; que le travail de sa détente est entièrement perdu, et que par conséquent il n'y a lieu d'employer la nouvelle pompe, si ingénieuse qu'elle puisse être, dans aucune installation permanente. Son rôle est limité aux circonstances accidentelles où l'on a facilement de la vapeur disponible, et lorsqu'on a besoin momentanément d'une quantité d'eau non habituelle.

Elle est dans ces conditions d'un bon fonctionnement et peut rendre alors de véritables services, comme machine de secours, avec alimentation faite par l'intermédiaire d'un tuyau de caoutchouc.

Fait par l'ingénieur sous-directeur du Conservatoire des Arts et Métiers.

Paris, le 1er octobre 1871.

H. TRESCA.

Vu : Le directeur, Général MORIN.

NOTE

SUR UN CAS PARTICULIER

DE CHAUFFAGE A LA VAPEUR.

PAR M. LE CHATELIER,
Ingénieur en chef des mines.

L'expérience dont nous donnons les résultats avait pour objet de contrôler directement les effets qui se produisent dans les cylindres d'une machine locomotive, en marche à contre-vapeur, avec injection d'eau seule.

Comme la pratique le montre journellement, en dérivant de la chaudière, pour l'amener à la base du tuyau d'échappement, un petit filet d'eau chaude, qui ne se vaporise à sa sortie, par suite de la diminution de pression, que dans la proportion de 13 à 14 °/₀, on prévient la rentrée des gaz de la combustion dans les cylindres pendant la marche à contre-vapeur; la *quantité d'eau* ainsi dépensée à égalité de perte de vapeur sous forme de panache sortant de la cheminée est au plus égale à la *quantité de vapeur* qu'on dépenserait, si l'on devait seulement se borner au remplissage des cylindres, pour empêcher les rentrées de gaz et leur refoulement dans la chaudière, et si l'on se contentait de cette injection de vapeur.

L'eau mêlée de 1/7 à 1/8 de vapeur qui pénètre, en passant sous les tiroirs et à travers les lumières à l'intérieur des cylindres, se réduit en vapeur dans le parcours qu'elle effectue, au contact des surfaces métalliques qui sont chauffées, soit d'une façon continue, soit d'une façon intermittente, par la vapeur saturée de la chaudière.

On se trouve dans les conditions de chauffage à la vapeur, où une vapeur saturée échange sa chaleur latente avec un liquide qui se vaporise à une pression et à une température inférieures.

Diverses expériences, citées par M. Péclet dans le deuxième volume de son *Traité de la chaleur*, montrent que, lorsque le liquide est chauffé par un serpentin, dans lequel la vapeur est animée d'un mouvement rapide, et que le liquide est en ébullition, la vaporisation s'élève à 8 ou 9 kilogrammes, soit en moyenne à $8^k.5$ *par mètre carré de surface, par heure,* et *par degré de différence de température ;* sous une pression de vapeur de 7 kilogrammes à $7^k.5$ par centimètre carré, et de l'eau de vaporisation sous la pression atmosphérique, c'est-à-dire, pour une différence d'environ 70°; c'est une production de vapeur de 600 kilog. par mètre carré et par heure, en nombre rond, tandis qu'une chaudière de machine fixe, chauffée par le rayonnement du foyer et le contact des gaz de la combustion, ne vaporise que 20 à 25, et une machine locomobile en marche 35 à 40 kilogrammes.

Le rapprochement de ces nombres suffit pour rendre compte de l'activité de la vaporisation dans les cylindres d'une machine locomotive à contre-vapeur, lorsque l'accès de l'air et des gaz du foyer est prévenu. Néammoins, nous avons pensé qu'il serait intéressant de faire une expérience plus directe, en mettant l'eau en mouvement, à très-grande vitesse, dans l'intérieur du serpentin et en appliquant à l'extérieur la vapeur saturée sous pression.

Dans un récipient fermé, éprouvé à 12 atmosphères, nous avons placé un serpentin en cuivre rouge de 2 1/2 millimètres d'épaisseur, de 5 centimètres de diamètre intérieur, et d'une longueur de 8,30 mètres, représentant une superficie de 1.30 mètre carré.

Le serpentin recevait à l'une de ses extrémités le tuyau d'injection de la contre-vapeur d'une machine locomotive en feu; à l'autre extrémité il portait un tube de cristal, de même diamètre, que la vapeur traversait pour s'échapper dans l'atmosphère. — Le récipient pouvait être mis, à volonté, en communication avec la chaudière de la machine locomotive.

Nous avons dirigé dans le serpentin le mélange d'eau et de vapeur qui sort du robinet d'injection d'eau de la contre-vapeur, en faisant varier le débit de ce robinet; nous l'avons fait, soit sans envoyer la vapeur de la chaudière autour du serpentin,

soit en mettant le récipient qui le contenait en libre communication avec la chaudière.

Le débit du robinet d'injection d'eau, à ses divers degrés d'ouverture, avait été déterminé par six séries d'expériences, destinées à se contrôler, dont trois en jaugeant l'abaissement du niveau d'eau dans la chaudière, et trois par condensation du jet de vapeur et d'eau dans un vase plein d'eau, taré et pesé avec soin; la pression effective a varié pendant les jaugeages et pendant les expériences de 7 kilog. à 7 1/2 kilog. par centimètre carré.

Voici le résultat des jaugeages :

Ouverture du robinet.	Débit en kilogrammes par minute.
3 tours 1/4	1/6 (25 + 25 + 25 + 24,7 + 25 + 24) = 24^{k},8
2 — 3/4	1/6 (20 + 21 + 22 + 20,2 + 20 + 21,5) = 20 ,8
2 — 1/4	1/6 (18 + 17 + 19 + 19 + 18 + 19) = 18 ,3
1 — 3/4	1/6 (15 + 13 + 12 + 14 + 15 + 13) = 13 ,7
1 — 1/4	1/6 (12,5 + 12 + 10 + 10,5 + 10 + 11) = 11 ,0

Lorsque le serpentin n'est pas entouré de vapeur, il en sort peu de vapeur et beaucoup d'eau. — Avec un débit d'environ 25 kilogr. par minute, l'eau est projetée avec assez de force et sort du tube en forme de cornet, dont le centre est occupé par la vapeur; l'intérieur du tube de cristal est opaque; on voit courir l'eau sur sa paroi. Lorsque l'injection diminue, l'eau se sépare et coule sur l'arête inférieure du tube; lorsqu'elle est réduite à 10 ou 15 kilogr., l'eau se rassemble dans le serpentin (dont l'hélice s'élève de bas en haut) et elle sort par projection intermittente.

Mais dès que la vapeur, à 7 kilogr. ou 7.25 kilogr. de pression effective par centimètre carré, est admise autour du serpentin, l'aspect du jet de fluide aqueux change totalement.

A 3 tours 1/4, ou 25 kilogr. environ de débit par minute, le jet à l'orifice du tube est animé d'une vitesse considérable, la vapeur est blanche, floconneuse, mouille la main; mais on n'y discerne pas à l'œil d'eau liquide; le tube de cristal est rempli de vapeur opaque.

A 2 tours 3/4, débit de 21 kilogr. environ par minute, la vapeur n'est plus que faiblement blanche et floconneuse à la sortie du tube; à l'intérieur il y a encore un peu d'opacité, et

on discerne des traînées de vapeur chargée d'eau, dans un milieu qui commence à devenir transparent.

A 2 tours 3/4, ou un peu plus de 18 kilogr. de débit à la minute, il n'y a plus que de très-faibles quantités d'eau entraînée; le faisceau de vapeur blanche n'apparaît qu'à une certaine distance de l'orifice du tube, auquel il ne se rattache plus que par quelques traînées blanches; on commence à lire à travers le tube les divisions d'un manomètre placé à 60 ou 80 centimètres au delà.

A 1 tour 3/4, ou près de 14 kilogr. par minute de débit et au-dessous, la vapeur est absolument sèche, transparente comme de l'air, dans le tube et jusqu'à une certaine distance de son orifice.

On peut admettre, pour la pression de 7 kilogr. à 7.25 kilogr. par centimètre carré, soit une température de 170°, dans le récipient qui renferme le serpentin, que l'eau est complétement vaporisée lorsque le débit est réduit à 16 ou 17 kilogr. par minute; au-dessous la vapeur doit être légèrement surchauffée.

Ces nombres correspondent, eu égard à la quantité d'eau *dérivée de la chaudière*, à une production de vapeur de 740 à 780 kilogr. par mètre carré et par heure, la différence de température étant de 70°, soit environ 10 à 11 kilogr. par degré de différence de température.

Si l'on défalque 13 pour 100 pour la vapeur qui se forme au moment où l'eau sortant de la chaudière subit une réduction de pression et une vaporisation partielle, ces chiffres se réduisent à 9 kilogr. et 9,7 kilogr., ce qui diffère en plus, mais d'une assez petite quantité, des données de M. Péclet.

On peut calculer approximativement le temps pendant lequel l'eau séjourne dans le serpentin, en supposant qu'elle y entre à l'état de mélange de 13 pour 100 de vapeur et 87 pour 100 d'eau, et en calculant les vitesses à l'entrée et à la sortie, pour en prendre la moyenne. — Pour un débit de 16^k.50 par minute ou de 275 grammes par seconde, on trouve;

Vitesse à l'entrée..........	30	mètres par seconde.
Vitesse à la sortie..........	230	—
Moyenne................	130	—

La longueur du serpentin étant de 8^m,30, l'eau qui se vapo-

rise complétement le parcourt dans un intervalle de temps de $\frac{8,30}{130} = 0'',0638$; soit environ 6 centièmes de seconde.

Dans une machine locomotive, par exemple dans les machines à 8 roues accouplées, généralement employées pour un cylindre seul, la totalité des surfaces métalliques qui entrent en contact avec l'eau en suspension dans la vapeur, et qui peuvent concourir à sa vaporisation, doit être évaluée comme suit :

	m.q.
Cavité intérieure du tiroir	0,1275
Surfaces latérales de la lumière d'échappement	0,1312
Lumières d'admission	0,2450
Fonds des cylindres	0,3926
Faces du piston	0,3926
Surface du cylindre	1,0366
Fond de la lumière d'échappement	0,1232
Tige du piston	*mémoire.*
Total	2,4487
Ou pour les deux cylindres	4,8974

Soit environ 5 mètres carrés.

Cette surface ne peut pas être comptée intégralement comme surface permanente de vaporisation; sauf pour le tiroir, il y a des alternatives de vaporisation et de condensation ou de réchauffement des cylindres par condensation de la vapeur. — Si l'on examine sur un diagramme de marche à contre-vapeur, à forte admission, ce qui doit se passer aux différents points de la course, on voit que les parcours en basse pression l'emportent sur ceux pendant lesquels la vapeur est comprimée et afflue de la chaudière; on peut évaluer au minimum à 60 pour 100 la surface qui concourt en permanence à vaporiser de l'eau, soit celle qui est emprisonnée dans l'espace nuisible, soit celle qui est appelée par l'aspiration. — On peut considérer 3 mètres carrés comme un minimum pour les deux cylindres.

Il est plus difficile de se rendre compte des différences de température entre le métal réchauffé par la condensation de la vapeur et refroidi par l'eau, à température décroissante pendant la détente et à 100° pendant l'aspiration. — Pendant la période de refoulement dans la chaudière, il y a dans le cylindre un excès de pression de 1 à 2 atmosphères sur celle de la chau-

dière, et la vapeur prend une température de 5 à 10° supérieure à celle de la chaudière. — Le métal s'échauffe instantanément, mais une partie de la chaleur se transmet à l'intérieur de sa masse; l'effet inverse se produit pendant la vaporisation. On n'est donc pas en présence d'une transmission, à travers une paroi métallique mince, en vertu d'une différence constante de température de 70°, comme dans le serpentin soumis à l'expérience. Mais, sauf pour le tiroir, les effets se produisent sur le nu des surfaces, sans interposition d'une enveloppe qui, bien que très-conductrice, gêne la transmission de la chaleur. — En outre, la durée du contact est plus grande. — Si l'on suppose une machine, comme celle prise pour exemple, marchant à 29 ou 30 kilomètres à l'heure avec roues de $1^{m},30$, le nombre de tours de roues par 1″ est égal à 2. La période de vaporisation, si on la suppose égale seulement à la moitié d'une révolution complète, est égale à 0″,25, c'est-à-dire quatre fois plus longue que ne l'était la durée du passage de l'eau dans le serpentin.

La vaporisation, dans le serpentin, à raison de $16^{kil},50$ d'eau prise dans la chaudière représente $12^{k},70$ par mètre carré et par minute. — Si l'on appliquait ce coefficient aux cylindres, pour 3 mètres carrés de surface de vaporisation permanente, on trouverait $38^{kg},1$.

Sans supposer que la durée trois ou quatre fois plus considérable du séjour de l'eau dans les cylindres, et que l'absence, sauf pour le tiroir, d'enveloppe interposée entre la source de chaleur et l'eau qui se vaporise, compensent les causes qui peuvent rendre la vaporisation moins active, on pourra admettre sans peine qu'il peut se produire dans les cylindres, par voie d'échange de chaleur, des quantités de 10, 15, 18 et même 20 kilogrammes d'eau par minute.

Il n'y a pas identité de circonstances entre l'expérience faite avec l'appareil qui vient d'être décrit et le travail d'une machine locomotive en marche à contre-vapeur; mais ces circonstances sont de même ordre, et la marge est telle qu'on devrait accepter les résultats de cette expérience comme démonstration, si une démonstration était nécessaire en présence de la pratique journalière.

Paris. — Imprimerie Viéville et Capiomont, rue des Poitevins, 6.

Annales du Conser[vatoire]

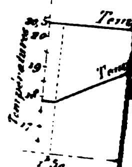


Planche 72. T IX N° 2.



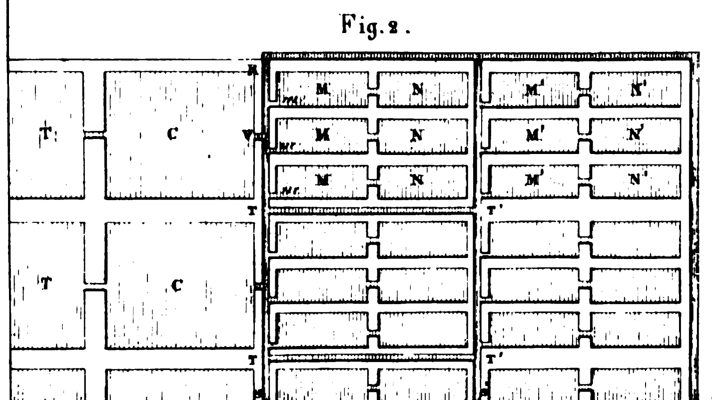
Fig. 1.

A'

A

V

Fig. 2.



Établt et imprie de J. Baudru à Liège

ÉLOGE DE M. PAYEN

PRONONCÉ

le 10 novembre 1871

A L'OUVERTURE DU COURS DE CHIMIE INDUSTRIELLE DU CONSERVATOIRE DES ARTS ET MÉTIERS

PAR M. AIMÉ GIRARD, PROFESSEUR.

MESSIEURS,

Le professeur éminent auquel j'ai l'honneur de succéder aujourd'hui nous a quittés au milieu d'événements si douloureux, que sa mort est passée presque inaperçue, qu'un petit nombre d'amis seulement ont pu, au prix de dangers sérieux, l'accompagner à sa dernière demeure, et qu'à peine quelques paroles d'adieu ont été prononcées sur sa tombe, alors que tant de corps constitués, tant d'associations scientifiques eussent désiré apporter sur cette tombe l'expression de leur estime et de leurs regrets[1].

C'est pourquoi j'ai pensé qu'en entrant dans cet amphithéâtre mon devoir était de consacrer mes premiers soins à vous rappeler quelle a été la part prise par M. Payen au mouvement scientifique de notre époque, quelles sont les découvertes qui ont illustré son nom, et enfin quelle influence considérable il a exercée par quarante années de professorat sur le développement de la science industrielle et sur les progrès de l'industrie elle-même.

En vous parlant de M. Payen, Messieurs, je ne vous dirai pas

1. M Payen, né en 1791, est mort le 13 mai 1871.

de ces anecdotes dont les orateurs aiment à semer les éloges qu'ils font de ceux qui ne sont plus; la gravité du lieu ne le comporte pas. Je le voudrais d'ailleurs, que je serais fort embarrassé pour le faire; je ne connaissais pas, fort peu d'entre nous connaissaient la vie privée de M. Payen. C'était une de ces existences patriarcales et modestes, où le travail tient toute la place et dont le public ne sait rien. Je ne connais pas, du reste, de plus bel éloge que l'on puisse faire de la vie privée d'un savant.

Mais si l'homme privé doit nous rester étranger, le savant nous appartient tout entier, et croyez-le bien, Messieurs, nous trouverons dans l'œuvre considérable qu'il nous laisse assez de travaux importants, assez d'enseignements utiles, pour que votre attention n'ait pas besoin d'être distraite par des questions étrangères à la science.

M. Payen avait eu cette fortune singulière d'être un industriel savant avant que d'être un savant industriel; il était né dans une manufacture de produits chimiques, et son enfance s'était écoulée au milieu de ces opérations industrielles dont l'étude devait être la préoccupation de toute sa vie.

Son père, manufacturier habile, faisait partie de cette phalange d'hommes distingués et entreprenants, qui, au commencement de ce siècle, s'étaient donné la mission de guider dans ses premiers pas l'industrie française alors naissante; et, dès cette époque, il avait marqué sa place à côté des chefs mêmes de cette phalange, à côté de ces hommes, dont le nom, aujourd'hui célèbre, ne doit être prononcé qu'avec reconnaissance : à côté de Chaptal, de d'Arcet, de Descroizilles, de Clément-Desormes.

Constamment aux prises avec ces problèmes sans nombre qui surgissent chaque jour au cours des opérations manufacturières, doué lui-même d'une instruction étendue, et pénétré de l'importance des services que peut rendre l'alliance raisonnée de la science théorique et de la pratique industrielle, le père de M. Payen avait de bonne heure indiqué à son fils le chemin du laboratoire.

Vauquelin fut son premier maître : c'est dans le laboratoire de ce savant illustre, dont M. Chevreul était alors le préparateur,

et auquel la chimie, la chimie minéralogique surtout, doivent tant et de si grands progrès, que M. Payen fit, vers 1808, ses premières études scientifiques. Lorsqu'il le quitta pour aborder la fabrication des produits chimiques, il y laissa le souvenir d'un esprit sagace, inventif, et en emporta cet amour de la recherche, ce désir ardent de savoir, qui devaient être les guides de sa vie entière.

Il donna bientôt des preuves de ces qualités : d'une part, en publiant d'intéressantes recherches scientifiques; d'une autre, en introduisant dans les fabrications dont la direction lui était confiée des améliorations importantes, en créant même, et d'après les données de la science, des industries nouvelles.

Il est bien difficile aujourd'hui, et en se reportant à si longue distance, de reconstituer l'œuvre manufacturière de M. Payen. Les publications scientifiques étaient rares à cette époque; les contemporains ont malheureusement, et pour la plupart, disparu; et bien des progrès dus à l'initiative de M. Payen sont depuis tant d'années passés dans la pratique journalière, que la génération actuelle a quelque peu oublié leur auteur.

Cependant, parmi ces travaux que voyait naître chaque jour, il en est qui, par leur importance, dépassent tous les autres et dont le souvenir est toujours vivace. J'en indiquerai quelques-uns : ils suffiront, je l'espère, pour vous faire apprécier la portée des services rendus dès cette époque à l'industrie par M. Payen.

Nous ne savons plus aujourd'hui, grâce au progrès de la salubrité publique, quels embarras créaient jadis aux populations les débris des animaux morts, soit dans les villes, soit dans les campagnes : ces débris nous ne les voyons plus. Il n'en était pas de même autrefois. Sans remonter bien haut, reportons-nous seulement à l'année 1825, et écoutons ce que disait à ce sujet la Société centrale d'agriculture : « En général, les animaux « morts sont de suite dépouillés, et leurs corps sont enfouis dans « la terre; ou bien ils sont laissés sur le sol et deviennent la pâ- « ture des oiseaux de proie, des chiens maraudeurs, ou des « loups qu'ils attirent dans le voisinage des habitations. » A la vérité, ces débris étaient recueillis dans quelques grandes villes et partiellement utilisés; mais combien étaient grossiers, barbares, les procédés suivis pour cette utilisation ! Et quelle

répugnance vous éprouveriez si, ouvrant le rapport publié en 1827 par Parent-Duchatelet, je vous faisais voir ces clos de Montfaucon dont le souvenir seul inspire le dégoût! Aujourd'hui l'utilisation des débris d'animaux morts est une industrie normale. Allez auprès de Paris, à Aubervilliers, et là vous verrez une usine importante, où la chair des animaux morts dans la grande ville, soumise d'abord à une cuisson convenable, puis séchée et pulvérisée, devient la base d'engrais estimés et recherchés par l'agriculture. Cette industrie est une création de M. Payen; c'est lui qui, répondant en 1826 à l'appel de la Société d'agriculture, a minutieusement décrit et fait connaître les procédés salubres et utiles que je viens de résumer.

Le borate de soude, ou, pour donner à ce sel son nom vulgaire, le borax, est un produit important, dans lequel l'industrie des métaux et la céramique trouvent un auxiliaire utile: la première pour souder et pour braser, la seconde pour donner à certaines couvertes une fusibilité convenable. Autrefois l'Europe tirait ce sel de l'Inde, de la Chine, de la Perse; il arrivait sur nos marchés sous la forme de petits cristaux susceptibles de s'effleurir au contact de l'air en perdant une partie de leur eau de cristallisation. Pour éviter cette altération, qui se traduisait par une perte de poids, les indigènes avaient imaginé d'enrober ces cristaux d'une couche de matière grasse qui les préservait assez complétement : de là la nécessité d'un raffinage ayant pour but de mettre à nu le borax à l'état de pureté. L'industrie du raffinage longtemps secrète à Venise, puis concentrée en Hollande, fut importée en France vers 1805. Mais la purification était difficile, et malgré tous les soins dont elle était l'objet, les solutions boraciques ne fournissaient jamais que de petits cristaux mal définis que le commerce ne voulait pas accepter; si bien que, jusqu'en 1815, le prix du borax raffiné n'était pas moindre que 7 à 8 francs le kilogramme. Vers cette époque, l'acide borique, découvert à la fin du siècle dernier dans les soffioni de la Toscane, commençait à se montrer sur les marchés européens; M. Payen entrevit dès lors la possibilité de renverser le monopole hollandais, non pas en s'attachant à un raffinage inutile, mais en formant de toutes pièces le borax à l'aide de l'acide borique toscan et du carbonate de soude français. Ses essais furent pres-

que immédiatement couronnés de succès, et dès l'année 1820 il offrait au commerce des cristaux de borax, fabriqués à Grenelle, beaucoup plus beaux que ceux envoyés habituellement en France par les raffineurs hollandais. Un préjugé fâcheux, que les essais infructueux tentés antérieurement n'avaient fait qu'entretenir, fit tout d'abord rejeter le nouveau produit; mais au premier rang des qualités de M. Payen figurait une indomptable ténacité. Il savait que le borax préparé artificiellement devait rendre service à l'industrie de son pays; il voulait le voir entrer dans la consommation, il y entra! Le borax hollandais avait une teinte brunâtre, on colora le borax français; les emballages hollandais avaient une allure spéciale, on imita cette allure; les cristaux arrivaient en France émoussés par le transport, on plaça les cristaux fabriqués à Grenelle dans des tonneaux, et on roula ces tonneaux dans les cours de l'usine jusqu'à ce que les arêtes fussent émoussées de même par le frottement. Le préjugé fut bientôt vaincu ; la Hollande perdit le monopole du commerce du borax, et le prix de ce produit tomba rapidement de moitié; il ne dépasse pas actuellement 2 fr. 50 le kilogramme.

Peu de personnes ignorent aujourd'hui le rôle important que joue le noir animal dans la fabrication et le raffinage du sucre. Chacun sait qu'au contact de cette substance les jus sucrés s'épurent, se décolorent, et que, sans son aide, il serait impossible, quant à présent du moins, d'obtenir ces sucres blancs et cristallisés qui satisfont notre vue autant que notre goût. Mais beaucoup ignorent, à coup sûr, qu'à l'origine de l'industrie sucrière européenne le noir animal n'était pas encore en usage. La chimie avait depuis longtemps fait connaître l'action décolorante du charbon de bois, mais celle du charbon laissé par la calcination des os n'était pas connue; ni l'une ni l'autre d'ailleurs n'avaient au commencement de ce siècle pénétré dans l'industrie. C'est en 1809 que, pour la première fois, un habile raffineur, nommé Guillon, imagina d'appliquer à l'épuration des jus sucrés l'action décolorante du charbon de bois; il fabriqua ainsi des sirops blancs d'un goût agréable qui furent immédiatement recherchés par la consommation. Deux ans plus tard, en 1811, Figuier, de Montpellier, appelait le premier l'attention des savants sur les

propriétés du charbon animal, propriétés qu'il avait reconnues fort supérieures à celles du charbon végétal. M. Payen fabriquait alors, dans sa manufacture de Grenelle, des sels ammoniacaux, en calcinant en vase clos des matières animales et notamment des os. Dans les cornues dont il faisait usage restait, comme résidu sans emploi jusqu'alors, ce mélange de substance calcaire et de charbon divisé, qui, conservant la forme primitive de l'os, constitue le produit habituellement désigné sous le nom de noir animal. C'est ce produit que le premier M. Payen conçut l'idée d'appliquer à la décoloration des sucres. Le succès tout d'abord ne répondit point à son attente : soit maladresse, soit mauvaise volonté, les manufacturiers auxquels il avait confié le soin des premières expériences ne surent tirer du noir animal aucun parti et en rejetèrent l'emploi. M. Payen ne se découragea pas. Bientôt il rencontra dans M. Derosne un collaborateur convaincu : de nouveaux essais furent tentés qui donnèrent des résultats merveilleux, et la valeur du noir d'os se trouva victorieusement établie. Mais, dans ce cas encore, M. Payen rencontra d'énormes résistances : la routine repoussait l'emploi du nouvel agent; il la vainquit. Les raffineurs de Paris cédèrent les premiers : deux fabriques de noir animal furent créées à Paris ; elles furent bientôt insuffisantes. Une troisième fut montée à Orléans ; d'autres suivirent, et le succès gagnant de proche en proche, l'emploi du noir ne tarda pas à devenir général, non-seulement en France, mais dans tous les pays producteurs de sucre.

Le développement de cette fabrication, qui doit la vie à M. Payen, a suivi proportionnellement le développement de l'industrie sucrière, et, en France seulement, on ne compte pas moins de soixante établissements aujourd'hui, qui, chaque année, livrent au commerce une quantité de noir animal représentant une valeur de 6 000 000 de francs.

J'ai cité ces travaux de M. Payen parce qu'ils ont laissé des traces profondes, parce que sur eux reposent de grandes industries dont il a été le créateur. J'en pourrais citer d'autres encore ; je pourrais rappeler que c'est à son initiative, et à celle de son collaborateur Cartier, que sont dus les premiers appareils rationnels destinés à la production de l'acide sulfurique ; je pourrais développer les recherches sur la composition de la betterave,

qu'il publiait en 1825, recherches dans lesquelles, le premier, il annonçait que celle-ci ne renferme que du sucre cristallisable ; je pourrais enfin, par bien d'autres citations, montrer combien dès cette époque les travaux de M. Payen étaient nombreux et importants; mais ce que j'ai dit suffit, je pense, à en faire apprécier la valeur. Cependant, et quel que fût leur intérêt, ces travaux n'auraient pas suffi pour donner à M. Payen cette célébrité, qui, vers la fin de sa vie, lui avait acquis sur maintes questions une autorité indiscutable. Il était classé parmi les manufacturiers les plus intelligents de l'époque, parmi les chercheurs sérieux, auxquels les savants aimaient à faire appel; mais il n'avait pas encore pris rang parmi ceux-ci. Il ne devait pas tarder à le faire.

M. Payen avait alors 35 ans. Ses travaux l'avaient mis en rapport avec quelques-uns des hommes les plus éminents de cette époque. M. Brongniart, M. Chevreul lui avaient ouvert les portes du Muséum d'histoire naturelle; il cultiva avec bonheur leur société. Il reconnut près d'eux que certaines méthodes faisaient défaut à son activité, à son ardeur de savoir; il apprit à leur contact ce qu'était la science dans son expression la plus élevée; il comprit l'importance du fini dans les recherches, de la précision, de la netteté.

Une voie nouvelle s'ouvrit alors devant lui : il y entra avec ardeur, donnant à ses contemporains ce spectacle inaccoutumé d'un homme qui, parvenu à l'âge mûr, en possession d'une réputation solide, sent qu'il a mieux à faire encore et ne considère l'œuvre utile qu'il a accomplie déjà que comme un levier qui doit lui servir à accomplir une œuvre plus importante.

Deux savants surtout attirèrent M. Payen : ce furent M. de Mirbel, de qui il apprit la physiologie végétale et dont il devint bientôt le collaborateur, et M. Dumas, dans le laboratoire duquel, par les leçons du maître et la fréquentation d'élèves célèbres déjà, il perfectionna ses connaissances chimiques et affina, si je puis m'exprimer ainsi, son individualité scientifique.

C'est dans ce milieu que ses confrères vinrent le chercher en 1829 pour occuper la chaire de l'École centrale des arts et manufactures qui venait d'être fondée, et, dix ans plus tard, la chaire de chimie industrielle du Conservatoire des arts et métiers.

C'est également à cette époque que commencent les grands travaux auxquels le nom de M. Payen devra de survivre à celui qui le portait. Le nombre de ces travaux est surprenant; peu d'hommes ont laissé une œuvre scientifique aussi considérable que celle de M. Payen. S'il me fallait en analyser, ne fût-ce qu'une faible partie, je serais à coup sûr fort embarrassé; et si je me proposais de vous lire seulement les titres de tous ces mémoires, d'y joindre l'énumération des ouvrages qu'il a publiés, des rapports qu'il a rédigés, l'heure dont je dispose n'y suffirait pas. Les comptes rendus de l'Académie des sciences, à eux seuls (et leur publication ne date que de 1835), ne renferment pas moins de 160 notes ou mémoires dus à M. Payen.

Si l'on étudie avec attention cette œuvre considérable, dont l'étendue semble au premier abord engendrer la confusion; si on laisse de côté les Mémoires que j'appellerai secondaires, quoiqu'à eux seuls ces Mémoires soient plus que suffisants pour établir la réputation d'un savant distingué, on voit bientôt se dégager la pensée fondamentale dont M. Payen se montre sans cesse préoccupé, et les plus importants parmi ces travaux viennent se grouper en un ensemble régulièrement ordonné, dont le but est la détermination de la constitution chimique des végétaux.

Pendant quarante-cinq ans, de 1825 jusqu'à sa mort, M. Payen poursuit sans trêve son dessein. Armé des instruments les plus parfaits que l'optique peut lui fournir, appelant à son aide les phénomènes les plus délicats de la chimie, il interroge le tissu végétal jusque dans ses parties les plus secrètes, et porte dans ces parties les réactifs qui doivent lui en dévoiler la composition. Merveilleusement habile au maniement du microscope, il fait du porte-objet un véritable laboratoire de physiologie végétale; puis, lorsque sa conviction est formée, qu'il s'agit de convaincre les autres, il transporte avec une égale habileté dans le laboratoire du chimiste les réactions et les phénomènes que le micrographe a su découvrir; il montre ainsi qu'elle est la composition chimique des divers organes des végétaux, et, des faits qu'il a su observer, il déduit des lois générales qui établissent entre la composition de ces organes et leurs fonctions des rapports intimes et réguliers.

Vingt années ont été nécessaires à M. Payen pour résoudre

les questions multiples et complexes que soulevait l'étude de la composition chimique des végétaux. Vers 1825, il commençait ses recherches; de 1830 à 1842, sept Mémoires étendus sur ce sujet étaient présentés par lui à l'Académie des sciences; en 1846 enfin, un huitième Mémoire, à la rédaction duquel s'était associé M. de Mirbel, venait résumer les premiers, confirmer les résultats acquis, et donner par des observations nouvelles une force plus grande aux conclusions précédemment émises.

Cependant, alors même que ces travaux paraissent complets à tous, alors que les faits qu'il a découverts sont passés dans le domaine de l'enseignement classique, M. Payen ne se trouve pas satisfait encore. Son esprit sévère, amoureux de la vérité, cherche chaque jour des preuves nouvelles, et dans chacun des faits que le développement d'autres travaux ou les hasards de la discussion l'amènent à étudier, il poursuit la confirmation des lois qu'il a établies. C'est ainsi que nous le voyons, dans les dernières années de sa vie, revenir fréquemment sur ce sujet qu'il affectionnait entre tous.

Il n'est pas sans intérêt de rechercher par quelle filiation d'idées M. Payen a été conduit à entreprendre cet immense travail; c'est dans ses premières observations sur l'emploi des débris animaux en agriculture qu'on en trouve le point de départ. Préoccupé, dès 1820, de l'influence des engrais azotés sur le développement des plantes, M. Payen avait été amené à se demander si cette influence devait être considérée comme s'exerçant simultanément sur le végétal tout entier ou spécialement sur certains tissus déterminés. Gay-Lussac, quelques années plus tard, avait appelé l'attention des physiologistes sur la présence de l'azote dans les graines, et dans la découverte de ce fait important, M. Payen avait trouvé la confirmation de ses vues. Il essaya dès lors de généraliser ses observations, de déterminer la composition des tissus végétaux au moment même où ils prennent naissance, et bientôt il reconnut quel était le rôle des matières azotées dans la nutrition et le développement de ces tissus.

C'est à M. Payen qu'on doit la découverte de ce fait capital, que les matières azotées, douées d'une composition quaternaire analogue à celle des produits animaux, sont inégalement réparties dans les tissus végétaux. Accumulées en grandes quantités

dans les jeunes organes où se concentre la force vitale des plantes, c'est-à-dire dans l'embryon naissant, dans la radicule et la gemmule des graines, dans les spongioles des radicelles, et dans les parties centrales des bourgeons non développés, ces matières ne se retrouvent plus qu'en faible proportion dans les tissus anciens, et se retirent de ceux-ci au fur et à mesure qu'ils avancent en âge. Le rôle des matières azotées est facile à déduire de ces observations ; elles sont les agents essentiels du développement des tissus dans les circonstances où les organes doivent pourvoir eux-mêmes à leur propre nutrition. Ces matières azotées, M. Payen les retrouve, avant toute autre organisation discernable, dans le cambium, c'est-à-dire dans cette gelée organique d'où naît le tissu utriculaire, et il devance ainsi, comme M. Decaisne le faisait récemment remarquer avec juste raison, les célèbres observations de M. Hugo Mohl sur la composition de l'utricule primordiale.

A la suite de ces recherches, une étude non moins importante s'imposait d'elle-même à M. Payen, c'était l'étude de la matière amylacée, vulgairement désignée sous les noms d'amidon et de fécule. La science ignorait encore, à cette époque, non-seulement quel était le rôle de cette matière dans la végétation, mais encore quelle était sa constitution chimique; elle ignorait même si l'amidon était une espèce unique ou si les plantes en renfermaient des variétés infinies.

C'est au cours de ces recherches que M. Payen fit, en collaboration avec M. Persoz, la découverte mémorable de la diastase : composé singulier, riche en azote, qui prend naissance dans la graine même pendant la germination, et qui, doué de la propriété de transformer la substance amylacée en matières solubles, la fluidifie peu à peu et transporte à la tige naissante les sucs nourriciers qui doivent la consolider et en former le tissu.

Dans l'histoire de la chimie moderne on trouve peu de questions dont l'étude ait été aussi approfondie que l'a été par M. Payen l'étude de la matière amylacée. Le Mémoire qu'il a publié sur ce sujet en 1836 est un chef-d'œuvre de précision et de netteté. M. Payen y démontre que les matières amylacées extraites des racines, des tiges et des graines des diverses plantes, peuvent varier dans leurs formes, leurs dimensions, même dans leur état d'agrégation ; mais que ces matières con-

stituent une seule et même espèce chimique, offrant toujours la même composition, qu'elle provienne des tubercules de la pomme de terre ou de graines de la betterave, des tiges du cactus ou des rhyzômes du canna.

La constitution anatomique de l'amidon était, à cette époque, une question fort controversée; M. Payen la résout victorieusement, en démontrant que les grains de matière amylacée ne renferment aucun produit liquide, et que chacun d'eux est formé d'une série de tuniques minces qui s'enveloppent les unes les autres et augmentent de cohésion avec l'âge. Il établit que l'amidon ne se rencontre jamais dans les tissus rudimentaires, qu'il s'accumule au contraire dans les organes développés, et que, là, il constitue une réserve de matière assimilable, capable de concourir dans des conditions déterminées à la nutrition végétale.

L'action de l'eau sur la matière amylacée est, de la part de M. Payen, l'objet d'un examen approfondi. Il prouve que cette matière ne se dissout jamais, à moins qu'elle ne se transforme; que l'empois, même le plus léger, reste toujours un mélange d'eau et de granules amylacés, gonflés, distendus dans d'énormes proportions.

La transformation de l'amidon en dextrine, puis en sucre, au contact de la diastase, fixe longtemps son attention; il étudie minutieusement les détails de cette réaction remarquable, et démontre comment l'amidon, ainsi rendu soluble, passe d'un tissu dans un autre, tantôt pour s'y accumuler de nouveau, tantôt pour s'engager dans une plus forte agrégation et participer sous une forme stable à la formation des membranes cellulaires de ce tissu. Chemin faisant, il établit la théorie de la fabrication de la bière, découvre le procédé dont l'industrie fait usage aujourd'hui pour obtenir la dextrine, et, soutenu par M. Dumas, fixe la composition de ce corps intéressant, dont il démontre l'isomérie avec l'amidon.

M. Payen aborde ensuite le problème plus ardu encore de la constitution chimique du tissu végétal proprement dit; il montre alors qu'une substance unique, toujours identique dans sa composition, variable seulement par ses divers états d'agrégation, la cellulose, constitue la substance même de tous les tissus végétaux, cellules, fibres, vaisseaux ou trachées; injectée de ma-

tière azotée et de silice, la cellulose forme l'épiderme des tiges et des feuilles; solidifiée par une matière organique plus riche en carbone et à laquelle M. Payen donne le nom de matière incrustante, elle forme les fibres du bois.

Chose remarquable, d'ailleurs : la composition assignée à la cellulose par l'analyse chimique se trouve être identique à celles de l'amidon et de la dextrine, si bien que, de cet ensemble d'observations microscopiques attentives, de réactions habilement interprétées, d'analyses sévèrement contrôlées, découle avec une extrême simplicité la théorie tout entière de la nutrition végétale.

Accumulée dans la graine où elle forme réserve, la matière amylacée s'y modifie sous l'action de la diastase et devient soluble. Dextrine ou sucre, la substance modifiée traverse la trame cellulaire déjà construite, et vient former à côté d'elle de nouveaux tissus; et ceux-ci, cellules ou vaisseaux, deviennent alors, suivant les expressions de M. Payen lui-même : « les enveloppes protectrices, les réservoirs et les conduits à l'aide desquels les corps animés qui les sécrètent et les façonnent se logent, puisent et charrient leurs aliments, déposent et isolent les matières excrétées. »

Messieurs, je n'ai pas craint d'insister longuement sur ces travaux importants, qui, du reste, constituent la partie capitale de l'œuvre de M. Payen; il m'a semblé qu'en agissant ainsi, je vous ferais apprécier la haute portée scientifique de ses découvertes plus complétement que si je me bornais à faire de celles-ci une sèche énumération. Je ne voudrais pas cependant quitter ce sujet sans vous rappeler que l'étude de la constitution chimique des végétaux n'a pas eu seule le privilége de fixer son attention. Les Mémoires si nombreux qu'il a publiés pendant sa longue carrière embrassent bien d'autres sujets d'étude, et s'il nous était permis de les passer en revue, nous l'y verrions successivement aborder : avec M. Boussingault, la grande question des engrais, question sur laquelle ces deux savants éminents ont jeté de si vives lumières; avec M. Dumas, la question de l'engraissement des animaux. Nous l'y verrions établir de la manière la plus nette la structure et la composition de la canne à sucre; apporter l'appui de son expérience à l'examen des graves pro-

blèmes soulevés, il y a vingt ans environ, par la maladie des pommes de terre et surtout par la maladie de la vigne; présenter sur l'emploi et la fabrication de la poudre-coton des observations importantes; aborder le premier la question jusqu'alors si obscure du caoutchouc et de la gutta-percha; s'attaquer enfin aux problèmes les plus variés, et les résoudre avec ce succès que lui assurait toujours la finesse de ses observations et la sévérité de son jugement.

Mais mon but ne serait pas rempli si, à côté des découvertes scientifiques de M. Payen, je ne plaçais les services qu'il n'a cessé de rendre pendant plus de quarante années, soit comme professeur, soit comme membre des principales Sociétés savantes de notre pays.

M. Payen professait la chimie industrielle à l'École centrale des arts et manufactures depuis 1829, au Conservatoire des arts et métiers depuis 1839, et l'immense autorité qu'il avait su conquérir en matière d'industrie faisait de lui l'un des maîtres les plus écoutés, les plus suivis de notre temps. En face de chacune de ces chaires il rencontrait un auditoire différent, et la flexibilité de son talent, la multiplicité de ses connaissances lui avaient permis de modifier son enseignement de façon à charmer et à instruire en même temps l'un et l'autre.

Chargé à l'École centrale de préparer à la pratique manufacturière ces ingénieurs distingués que nous rencontrons aujourd'hui, non-seulement dans toutes les usines de France, mais encore dans un grand nombre d'usines étrangères, il donnait à son enseignement l'allure sévère et précise qu'exige la mise en œuvre des procédés industriels. Là, par une discussion approfondie des méthodes, des appareils, des constructions, il réussissait à mettre ses jeunes auditeurs en mesure d'appliquer à la sortie même de l'École les préceptes qu'ils étaient venus chercher près de lui.

Au Conservatoire, en face de cet auditoire sympathique où se mêlent tant d'éléments variés, tous également désireux de savoir, mais placés par la diversité du but qu'ils poursuivent à des points de vue différents, M. Payen se faisait volontiers vulgarisateur. Sans rien abandonner de cette précision, qui seule permet à l'enseignement technique de porter des fruits, il aimait à

aborder ici les sujets nouveaux, à comparer les procédés suivis à l'étranger aux procédés français, à discuter les progrès accomplis, à montrer même leur influence sur le développement de la civilisation.

Ai-je besoin de vous dire, messieurs, quel était son succès dans l'une comme dans l'autre de ces chaires? Beaucoup d'entre vous, à coup sûr, ont suivi ses leçons. Vous l'avez vu aimé, écouté de ses auditeurs, prenant plaisir à leur dispenser avec une libéralité sans égale ces connaissances si nombreuses, si variées qu'il devait au travail incessant de toute sa vie. Vous l'avez vu aussi, esclave du devoir, exact à sa première comme à sa dernière leçon, fournir une carrière professorale de plus de quarante années, sans faire une seule fois appel à l'aide d'un suppléant. Lorsque arrivait l'heure du travail, M. Payen, dont la santé était souvent chancelante, ne connaissait plus ni le mal ni la fatigue ; il allait où le devoir l'appelait sans qu'aucune considération pût l'arrêter. Une seule fois ses forces l'ont trahi, et les jeunes ingénieurs, qui en 1869 suivaient les cours de l'École centrale, n'ont pas oublié cette leçon, où, malade, vaincu par la fatigue, M. Payen s'évanouit dans sa chaire de professeur, et dut être ramené presque mourant au lit qu'il n'avait quitté que quelques instants avant son cours.

Ce sentiment du devoir, M. Payen le portait partout, et tel nous venons de le voir dans son enseignement, tel nous le retrouvons dans les travaux si nombreux que lui demandaient les Sociétés et les Commissions dont il faisait partie. Membre de l'Académie des sciences, secrétaire perpétuel de la Société centrale d'agriculture, associé libre de l'Académie de médecine, membre de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale, membre des Conseils d'hygiène et de salubrité, président de la Société d'horticulture de la Seine, membre et rapporteur du Jury à toutes les expositions nationales à partir de 1830, et aux expositions internationales de 1851-1855-1862-1867, M. Payen ne négligeait aucun des devoirs que lui créaient ces fonctions multiples. Il n'admettait pas qu'une mission, si modeste qu'elle fût, pût être acceptée sans être remplie. Aussi, non-seulement le voyait-on, avec une assiduité sans égale, assister à toutes les séances des Sociétés ou des Commissions auxquelles il était attaché; mais encore le trouvait-on toujours prêt à étudier les ques-

tions soumises à ces Sociétés ou à ces Commissions. Son activité infatigable, qui ne faisait que croître avec l'âge, suffisait à tout. Qui pourrait compter les rapports faits par M. Payen pendant ces quarante dernières années? Qui pourrait dire combien de découvertes scientifiques ou industrielles ont été par là, et d'une manière incidente, l'objet de son examen? Examen consciencieux du reste et sérieux s'il en fût! Car, pour M. Payen, un rapport n'était jamais une chose banale. Prudent et réservé, il n'émettait un avis qu'après de longues recherches, qui, maintes fois, furent pour lui l'occasion de découvertes nouvelles, et qui donnent à ses rapports un prix que n'ont pas toujours les travaux de cet ordre.

Messieurs, en ce moment où la mode veut que l'on décrie sans cesse notre société française, où l'on n'est pas bien venu si l'on ne prononce à tout propos les mots d'incapacité, de faiblesse et de décadence, j'ai été heureux, je ne vous le cache pas, d'avoir à mettre sous vos yeux les services rendus par un savant de mérite supérieur, de mœurs simples et de caractère énergique. J'ai cherché à vous montrer tour à tour le manufacturier habile, créant au profit de l'industrie nationale des fabrications nouvelles, le savant profond éclairant des lumières de sa haute intelligence les problèmes les plus ardus, le professeur éminent dispensant à quarante générations les fruits de ses longues études et de son expérience consommée.

Mais, de cette vie si bien remplie, ce que je veux surtout retenir, Messieurs, c'est cet amour ardent du travail, ce dévouement sans bornes au devoir professionnel, dont M. Payen a été, à notre époque, l'un des plus solides exemples. Ce sont là deux grandes vertus, Messieurs, qui, aujourd'hui encore, quoi qu'on dise, ont dans notre pays de profondes racines, qu'un souffle impie cherche à en arracher, il est vrai, mais que tous nous devons consolider par nos efforts et par notre exemple; car, ne l'oublions pas, Messieurs, à l'aide de ces deux vertus bien modestes en apparence, mais bien puissantes en réalité, il nous sera facile de réparer nos désastres et de rendre à notre pays sa prospérité, peut-être même sa grandeur.

MÉMOIRE

SUR

L'APPAREIL DE L'ARCHE BIAISE

PAR M. DE LA GOURNERIE.

I

THÉORIE GÉNÉRALE.

1. Lorsque l'on veut étudier les conditions de l'équilibre d'un ouvrage en maçonnerie de pierres de taille, on doit d'abord rechercher si toutes ses parties ne sont soumises qu'à des forces de compression, ou bien si quelques-unes des pierres qui le composent résistent à des efforts d'extension. Dans le premier cas, l'appareil n'a aucune influence sur les pressions qui se développent, à moins que les maçonneries ne soient exposées à des tassements inégaux. Cette exception a de l'importance; elle comprend les voûtes en décharge, mais je ne m'y arrête pas, parce qu'elle est sans intérêt pour l'étude que j'ai en vue.

Dans beaucoup de maçonneries on trouve des pierres qui sont soumises à des forces d'extension, soit parce qu'elles ont des crossettes, soit parce qu'elles forment corbeau, tirant ou linteau. L'appareil influe alors sur les pressions. Il est évident, en effet, qu'une pierre qui résiste à l'extension ne peut être divisée sans que les conditions de l'équilibre soient modifiées. Tout le monde sait qu'une plate-bande ne se comporte pas de la même manière qu'un linteau.

2. Considérons maintenant un massif de maçonnerie *uniquement soumis à des compressions*, et, pour fixer les idées, supposons qu'il s'agisse d'un pilier n'ayant aucune partie en surplomb et

supportant des charges verticales. Toutes les pressions se transmettent à la fondation et y produisent une *poussée*.

Si le lit d'une assise est incliné, la partie supérieure du pilier tendra à glisser, et la partie inférieure sera repoussée en sens opposé. Cet effet, trop connu pour qu'il convienne de l'analyser, indique une *poussée au vide*.

Des forces de cette nature existent, quelle que soit la forme de l'ouvrage, toutes les fois que les lits des assises ne sont pas en tous leurs points normaux aux pressions [1].

Les poussées sur les appuis sont, comme les pressions, indépendantes de l'appareil : de quelque manière que les pierres d'un pilier soient disposées, si la maçonnerie subsiste, la charge sur la fondation sera toujours la même.

La poussée au vide résulte d'un vice primitif de l'appareil, ou de ce qu'une charge accidentelle modifie les directions prévues pour les pressions.

3. Si les pierres étaient polies et posées sans mortier, de petites poussées au vide suffiraient pour détruire l'équilibre, et les constructions ne pourraient supporter des charges accidentelles diversement inclinées. Mais, dans les conditions habituelles des maçonneries, il n'y a pas d'inconvénient grave à ce que les pressions soient un peu inclinées sur les lits.

Pour donner une indication sur les obliquités qui peuvent être admises, je rappellerai que, d'après Perronet [2], les voussoirs d'un pont droit n'ont pas besoin d'être soutenus par des cintres, lorsque le lit de pose fait avec l'horizon un angle inférieur à 39 ou 40 degrés. La cohésion des mortiers vient d'ailleurs augmenter promptement la difficulté du glissement.

Toutefois il ne paraît pas possible de fixer d'une manière générale une limite pratique de l'obliquité sous laquelle le lit

1. Les solutions approximatives étant toujours suffisantes en stéréotomie, il n'y a jamais lieu de rechercher, pour une construction donnée, s'il existe des surfaces qui, en chacun de leurs points, coupent normalement la direction de la pression maxima.

2. Mémoire sur le cintrement; Œuvres, édition de 1787, 1er vol., p. 104. On trouve dans l'Introduction à la mécanique industrielle de Poncelet (3e édition, p. 528) un résumé des expériences de MM. Boistard, Rondelet, Rennie, Morin et Lesbros, sur le glissement des pierres dans les maçonneries.

d'une assise peut rencontrer la direction habituelle des pressions, sans que la maçonnerie périclite. Les différentes constructions se trouvent, en effet, dans des conditions très-diverses sous le rapport des surcharges accidentelles, des ébranlements, des chocs, comme aussi des difficultés d'appareil qui peuvent rendre la taille plus ou moins défectueuse. Cette question doit donc être étudiée pour chaque nature d'ouvrage, et pour chaque genre d'appareil d'un même ouvrage.

4. La mécanique moléculaire ne peut, dans son état actuel, déterminer pour les différentes voûtes, quelle est, en chaque point, la direction de la pression. L'expérience a suppléé à la théorie, et l'architecture nous offre des appareils éprouvés qui font connaître, avec une exactitude suffisante, la loi de la direction des pressions, dans les cas ordinaires de la pratique.

5. On sait qu'il ne se développe que des compressions dans un berceau cylindrique horizontal droit. L'expérience montre que si les charges extérieures auxquelles cette voûte doit résister ne sont pas réparties d'une manière très-inégale, on satisfait convenablement aux conditions de l'équilibre, en prenant pour surfaces de joint des plans parallèles aux têtes, et pour surfaces de lit des plans normaux au cylindre d'intrados et passant par des génératrices rectilignes. On en conclut que la pression est, en chaque point, sensiblement parallèle à l'intrados et aux têtes; ou plutôt que cette hypothèse sur la direction des pressions présente le degré d'exactitude nécessaire dans les questions de la stéréotomie, et qu'on peut la prendre pour base de la théorie géométrique de l'appareil.

Si cependant la montée est très-petite par rapport à l'ouverture, on fait sur la direction des pressions une hypothèse différente qui conduit à un appareil de plate-bande. L'exemple des bonnes constructions fait connaître à quelle limite on doit cesser d'appareiller normalement à l'intrados. La base expérimentale se retrouve ainsi pour tous les appareils.

6. Dans la plupart des voûtes proprement dites il ne se déve-

loppe que des compressions. On doit chercher à établir les lits normaux à ces forces et à placer les joints dans leur direction. Il résulte de là qu'on obtient des angles sensiblement droits le long des arêtes d'intersection des lits et des joints. On a également, en général, des angles droits aux arêtes de la douelle, parce que les pressions sont très-souvent considérées comme parallèles à l'intrados.

L'angle droit est ainsi, dans beaucoup de cas, la conséquence des conditions de l'équilibre, mais il n'a en lui-même et par sa nature aucune vertu pour produire l'équilibre, de sorte que si l'on ne s'inquiète pas de la direction des pressions, les appareils qu'on pourra imaginer en enchâssant les unes auprès des autres des pierres taillées sous des angles droits n'auront absolument aucune valeur.

7. Chaque voussoir d'une plate-bande a un angle aigu et un angle obtus, parce que les pressions ne sont pas parallèles à la douelle plate qui forme l'intrados. Il serait bien facile d'avoir des angles droits, tout en conservant des lits plans, mais on amènerait la ruine de l'ouvrage.

Je pourrais multiplier les exemples d'angles aigus. On en voit dans les lunettes, parce que les lits du petit berceau sont nécessairement obliques sur l'intrados du grand; dans les arrière-voussures, parce qu'on forme les lits avec des plans, et que par suite ils ne peuvent rencontrer normalement l'intrados tout le long des lignes d'assises, etc.

8. Lorsque, dans une maçonnerie, la pression n'est pas parallèle au parement, on doit, suivant le sens dans lequel elle se développe, distinguer deux cas, qui sont connus sous les noms de *surplomb* et de *fruit*, lorsqu'il s'agit d'un mur soumis à des charges verticales.

J'examinerai, comme exemple du premier cas, l'encorbellement dont la figure ci-contre donne la coupe verticale : chaque pierre est un corbeau, et résiste à une charge en surplomb.

Le profil naturel de l'encorbellement est la droite AB : on voit facilement que si les lits la coupaient à angle droit, la charge verticale produirait une poussée au vide énergique, en outre de

l'effort de rupture. D'un autre côté, si l'on maintenait les lits horizontaux, il serait difficile de conserver aux pierres les angles aigus que leur donnerait le profil AB. On peut retourner

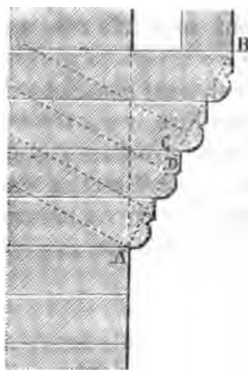


Fig. 1.

les lits d'équerre sur une petite longueur, comme l'indique la droite CD, mais on préfère établir des redans. Cette disposition, étant justifiée, plaît à l'œil et l'architecture sait l'utiliser pour la décoration.

9. Considérons maintenant un mur ayant un fruit considérable et ne supportant que des charges verticales. Si les lits sont normaux au parement, les assises supérieures chasseront les inférieures vers le dehors, et elles tendront elles-mêmes à glisser vers l'intérieur des maçonneries. La disposition est donc vicieuse : toutefois, quand l'inclination des lits ne s'étend pas loin du parement, que le massif a une grande épaisseur, et que l'assise de fondation est solidement établie, l'équilibre peut n'être pas détruit.

Dans une bonne construction les lits doivent être horizontaux ; la difficulté des angles aigus sera résolue par les mêmes procédés que pour un encorbellement.

10. Les voûtes d'un faible biais sont extrêmement anciennes. On les construit avec des assises horizontales entièrement sem-

blables à celles des berceaux droits, mais coupées obliquement par les plans de tête. L'expérience apprend que ces ouvrages ont une grande stabilité.

Il est très-facile, pour chaque hypothèse sur la direction des pressions, de déterminer comment l'équilibre s'établit dans une voûte de ce genre, et quelles sont les modifications que l'on pourrait utilement apporter à l'appareil.

Quelques ingénieurs pensent que la pression est dirigée, en chaque point, dans le plan de la section droite. S'il en est ainsi, le bandeau des têtes peut être assimilé à un encorbellement du côté de l'angle aigu de la culée et à un mur avec fruit du côté de l'angle obtus. Par suite, on diminuerait beaucoup la stabilité de l'ouvrage, en retournant les lits d'équerre au parement (Art. 8 et 9) : on doit les maintenir perpendiculaires aux plans des sections droites, et donner de grandes dimensions, surtout en queue, aux voussoirs de la partie qui forme encorbellement. Si certains angles sont trop aigus, il faut disposer les voussoirs de manière qu'ils présentent une suite de redans.

On arrive à des conséquences très-différentes lorsque l'on admet, avec d'autres ingénieurs, que les pressions sont parallèles aux plans de tête. Dans l'appareil auquel conduit cette hypothèse, les lits doivent couper à angle droit les plans parallèles aux têtes.

En examinant les résultats de l'expérience, et voyant par quelles dispositions on est parvenu à établir la stabilité dans les ponts d'un grand biais, nous pourrons déterminer la loi de la direction des pressions avec une approximation suffisante.

11. L'appareil droit, tel que je l'ai indiqué à l'article précédent, est très-bon pour les petites obliquités, à peu près jusqu'à 65 degrés[1]. On n'est parvenu à élever des voûtes sous de plus grands biais, qu'en rendant près de chaque tête les lits normaux au parement de la tête. On trouve, en effet, cette disposition dans les premiers appareils spéciaux aux berceaux obliques, parmi lesquels je dois citer d'abord le *biais passé*, puis les *joints brisés* de Gauthey et l'*intrados coudé* de Perronet.

1. Suivant l'usage, je prends l'angle des deux voies qui se croisent pour l'angle du biais; plus il est petit, plus l'obliquité est grande.

Je peux donc dire que l'expérience condamne l'hypothèse de l'encorbellement, et que les pressions sont, près de chaque tête, parallèles au parement de la tête.

12. Cette manière de comprendre la direction des pressions a continué à guider les ingénieurs dans leurs recherches, lorsque le développement des voies de communication et les difficultés des tracés ont exigé la construction de ponts sous des obliquités que les appareils connus ne comportaient pas. On a cherché à avoir des lits dont tous les plans tangents fussent perpendiculaires aux têtes; en d'autres termes, on a admis que dans toute la voûte les pressions étaient parallèles aux parements des têtes.

Quelques bons esprits doutaient que cette hypothèse fût suffisamment exacte. On a proposé de diviser les arches biaises en zones indépendantes, par des plans parallèles aux têtes, pour assurer une plus égale répartition des pressions sur les culées[1]; mais la comparaison des résultats obtenus avec et sans cet artifice a montré que les zones n'étaient pas nécessaires, et maintenant je regarde comme établi que, dans une arche biaise de dimensions ordinaires, les pressions peuvent être considérées comme parallèles aux plans des têtes.

Cette loi, du reste, n'est pas rigoureuse, et ne concerne pas la partie centrale, entre les têtes, d'une arche biaise très-longue.

Telle est la conséquence à laquelle conduisent les résultats obtenus dans la construction des ponts obliques. La théorie des appareils doit reposer sur cette donnée expérimentale.

J'ai oublié de dire que les appareils éprouvés montrent que la pression est sensiblement parallèle à l'intrados, comme cela a lieu dans les ponts droits. Du reste, dans les proportions ordinaires des ponts obliques, la poussée au vide vers l'intérieur de la voûte est peu à craindre, et si l'on doit chercher à rendre les lits normaux à la douelle, c'est surtout pour que les voussoirs soient, par leur forme, dans de meilleures conditions de résistance.

13. Les pressions étant parallèles aux plans de tête, un lit

1. Voir l'article consacré à M. Lefort.

doit avoir ses plans tangents perpendiculaires aux têtes; il doit aussi rencontrer normalement l'intrados.

Ces conditions déterminent un cylindre qui a pour directrice une trajectoire orthogonale aux sections de l'intrados par des plans parallèles aux têtes, et dont les génératrices sont perpendiculaires aux parements des têtes.

Des considérations relatives à la facilité des tracés et de la construction conduisent à changer le cylindre en une surface gauche; et, dans la plupart des cas, à remplacer les trajectoires orthogonales par des hélices.

On a ainsi l'appareil orthogonal et l'appareil hélicoïdal, qui sont seuls employés dans les grands biais.

Chacun d'eux est caractérisé par la nature de ses lignes d'assise, et comprend plusieurs variétés. Les principales différences concernent la forme de la section droite de l'intrados et, par suite, de la courbe de tête, la nature exacte des lits et la disposition des joints.

Ce que j'ai dit sur les développements successifs de l'art des ponts biais se rapporte surtout à ce qui a eu lieu en France. Le mouvement a été un peu différent en Angleterre; mais le succès a été obtenu par l'application du même principe, en adoptant des lits à peu près perpendiculaires aux plans parallèles aux parements des têtes.

14. Les ingénieurs qui se sont occupés de l'arche biaise ne raisonnent pas tous d'après les principes que j'ai exposés. Quelques-uns pensent que l'appareil détermine la direction des pressions; d'autres que les pressions s'exercent dans les plans des sections droites et produisent une poussée au vide indépendante de l'appareil. Il y en a dont toute la doctrine paraît consister à réunir, les unes auprès des autres, des pierres ayant des angles droits. On pourrait croire que ces diverses opinions ont conduit à des résultats très-différents : il n'en est rien. Tous les ingénieurs, sauf un [1], cherchent à remplir les conditions suivantes :

Assurer la normalité des lits sur l'intrados;

Assurer la normalité des lits sur les plans parallèles aux

1. Voir plus loin le paragraphe consacré à M. Lévy.

têtes, au moins jusqu'à une certaine distance du parement de chaque tête (V. art. 17);

Satisfaire aux exigences pratiques de l'architecture, principalement en ce qui concerne la facilité de la construction [1].

Le fait de conclusions presque identiques avec des prémisses très-différentes provient de ce que l'art des ponts biais présente un ensemble de faits incontestables, en vue desquels chacun a été obligé d'accommoder sa théorie.

L'accord doit être considéré comme complet sur les règles pratiques fondamentales. Les divergences dans les tracés adoptés résultent uniquement de l'impossibilité de satisfaire pleinement aux conditions que je viens d'indiquer, et des diverses appréciations des ingénieurs sur leur importance relative.

15. Lorsque l'on parle des plans parallèles aux têtes, on suppose toujours que les têtes sont verticales, ainsi que cela a lieu ordinairement; si elles devaient avoir du fruit, ce ne serait pas un motif pour altérer les surfaces des lits, au moins d'une manière sensible, parce qu'on se propose dans l'appareil d'équilibrer des forces qui proviennent de l'action de la pesanteur, et non pas de réaliser des angles sur lesquels l'ouvrier puisse appliquer son équerre. Il faudrait chercher dans d'autres combinaisons la suppression des angles qui pourraient être trop aigus.

16. L'appareil orthogonal présente sur l'appareil hélicoïdal, relativement à la poussée au vide, des avantages incontestables; mais ce dernier est généralement préféré, eu égard à la grande facilité des opérations qui assure une exécution meilleure. Les lits sont identiques, et, par suite, le même panneau monté, la même cerce d'hélice, les mêmes règles gauches servent pour tous les voussoirs, ce qui rend relativement très-simples la taille et la vérification des pierres. Les assises ont une épaisseur constante; toutes celles qui ne s'arrêtent pas aux impostes comprennent un voussoir sur chaque tête; leurs lignes sont obte-

1. Il est utile que les lignes de joint sur chaque tête soient normales à la courbe de l'intrados. Quelques ingénieurs tiennent beaucoup à cette condition; je ne la mentionne pas parce qu'elle est une conséquence des deux premières.

nues, par parties, sur les cintres, comme des droites sur un plan, à l'aide de longues voliges flexibles. Enfin tous les tracés pour la détermination des angles sont plus faciles et comportent diverses vérifications utiles.

On appelle *hélicoïdal elliptique* un appareil où l'intrados fait partie d'un cylindre elliptique, et dont les lignes d'assise coupent les génératrices sous un angle constant. La courbe de tête est en général un demi-cercle, et la section droite un arc d'une ellipse dont le grand axe est vertical. Les lits ne sont pas identiques, et les tracés ne sont pas aussi simples que dans l'appareil hélicoïdal proprement dit.

17. Dans toutes les dispositions, les lits ont les mêmes positions relatives par rapport aux têtes, et par rapport aux plans qui leur sont parallèles. On ne fait d'exception à cette règle que lorsque l'arche biaise est très-longue : dans ce cas, la partie voisine de chaque tête reçoit seule un appareil de pont oblique.

Les assises hélicoïdales se raccordent alors, à joints brisés, avec les assises horizontales de la partie centrale de la voûte. On peut aussi employer un appareil spécial que l'on appelle *orthogonal convergent*, et dans lequel les lits se développent d'une tête à l'autre, sans changement brusque de direction. Diverses règles, que j'indiquerai plus loin, ont été proposées pour fixer l'étendue de la partie *biaise*.

Quelques ingénieurs pensent que l'on pourrait appareiller comme un berceau droit une petite partie entre les têtes, dans une arche établie avec les proportions ordinaires, mais il y aurait à cela des inconvénients réels.

En général, les ponts biais n'ont des pierres de taille qu'aux bandeaux des têtes. La maçonnerie intérieure étant en briques ou en moellons smillés se prête aussi facilement à un appareil hélicoïdal qu'à un appareil droit. On construit le corps de la voûte en pierres de taille, seulement, quand on a besoin d'une grande solidité, ou par luxe, lorsque l'arche doit être vue en dessous; mais, dans un de ces cas comme dans l'autre, un appareil complet de pont biais est préférable à un appareil mixte.

18. De grands biais ont été atteints dès le jour où l'on a rendu

les lits normaux sur les plans parallèles aux têtes. Les premiers ponts où ce principe paraît avoir été appliqué sont ceux du canal du comté de Kildare, construits vers 1787 : l'un d'eux, celui de Finlay, a une obliquité de 39 degrés.

Lors des premiers travaux des chemins de fer, en 1830, un pont oblique à 27 degrés a été élevé sur la rivière Gaunless pour un embranchement de la ligne de Stockton à Darlington.

Je ne crois pas que l'on ait construit aucune voûte d'un plus grand biais.

On trouve dans l'ouvrage de M. Hart le dessin et la description d'un pont à 25 degrés, mais rien n'indique qu'il ait été construit.

Du reste, les ingénieurs les plus autorisés pensent que ces biais peuvent être dépassés.

Il y eut un moment où, dans la construction des chemins de fer, les ingénieurs semblèrent ne pas se préoccuper de l'obliquité sous laquelle les ponts devaient être élevés [1].

Mais une réaction a eu lieu; elle était nécessaire. Les arches d'un grand biais présentent, en effet, des sujétions de différents genres, et, d'ailleurs, l'extrême augmentation de l'ouverture oblique rend leur construction très-dispendieuse : un pont oblique à 30 degrés a une ouverture double de la largeur du canal qu'il franchit.

Les voussures que doivent avoir à chaque tête les arches d'un grand biais sont un second inconvénient indépendant de l'appareil employé.

Ces considérations portent actuellement les ingénieurs à éviter les très-grandes obliquités. Ils ne dépassent la limite de 45 degrés que quand ils y sont obligés par des circonstances impérieuses; mais tout indique que le principe de la normalité des lits sur les plans parallèles aux têtes permet d'aborder les cas les plus extrêmes.

Je n'ai vu citer aucun pont, d'un biais supérieur à celui de 64 degrés établi d'après un autre principe [2].

1. Voir le Mémoire de MM. Michelot et Bousson (*Annales des ponts et chaussées*, 2e semestre, page 95).

2. Voir l'article consacré à M. Le Blanc.

19. L'expérience tend à prouver que les arches obliques bien construites sont aussi durables que les arches droites, et qu'elles supportent sans dommage, comme ces dernières, les surcharges et les ébranlements produits par le passage des trains sur les chemins de fer les plus fréquentés. La loi du parallélisme des pressions aux plans de tête explique ce résultat, en montrant que dans ces deux genres de constructions, les conditions de la stabilité sont sinon identiques, du moins analogues.

Si les pressions étaient parallèles aux plans des sections droites, les arches biaises et les arches droites seraient pour l'équilibre dans des conditions très-différentes, et par suite je crois qu'on ne serait pas fondé à appliquer aux premières les résultats des expériences et des observations faites sur les secondes.

20. Par suite de l'inclinaison que l'on est conduit à donner aux lignes d'assise des arches biaises, les voussoirs voisins des angles aigus des culées tendent, lors de la pose, à glisser vers le dehors. Cet effet, sensible surtout dans l'appareil hélicoïdal, est une gêne assez sérieuse, mais la poussée au vide qui le produit est très-différente de celle qui peut se développer après le décintrement.

Dans toutes les constructions équilibrées, quelle que soit la nature des matériaux, les réactions ne peuvent s'établir qu'après l'achèvement de l'ouvrage. Jusque-là les pièces ont besoin d'être maintenues à la position qu'elles doivent occuper. C'est ainsi qu'une voûte ne peut être construite sans un cintre.

II

ANALYSE DES PRINCIPAUX MÉMOIRES PUBLIÉS SUR L'ARCHE BIAISE.

21. Je vais maintenant présenter une analyse succincte des principaux mémoires publiés sur les arches biaises, pour établir les preuves de mes assertions, faire connaître les divers appareils dans leurs détails les plus importants, et combattre les idées théoriques contraires à celles que j'ai exposées.

Après avoir essayé divers modes de classement, j'ai adopté l'ordre alphabétique qui fait disparaître toutes les difficultés; mais, pour guider le lecteur, je crois nécessaire de donner tout d'abord quelques indications générales.

L'art des ponts biais s'est développé presque exclusivement en Angleterre et en France : ses progrès dans chacun des deux pays n'ont eu qu'une influence secondaire sur son développement dans l'autre.

22. Les premiers ponts obliques que l'on cite en Angleterre, ou plutôt dans le Royaume-Uni, ont été construits près de Naas (Irlande), vers 1787, par Chapman. En 1819, cet ingénieur a fait connaître leur appareil, et a posé le principe que, dans les arches biaises, les assises doivent courir perpendiculairement aux têtes.

Le traité de coupe des pierres de Nicholson, publié en 1828, contient une exposition des tracés de l'appareil hélicoïdal.

On a ensuite, sur le même appareil, les traités de Fox, de Hart et de Buck, qui ont paru respectivement en 1836, 1837 et 1839.

Dans l'année 1838, M. Adie a employé à Lancastre l'appareil orthogonal qui a été appelé plus tard *appareil à assises équi-*

librées (equilibrated courses). Les propriétés des trajectoires orthogonales ont été étudiées par M. Whewell (1841) et par M. Bashforth (1855).

Enfin, en 1867, M. Donaldson a proposé de dresser les têtes des ponts obliques suivant des surfaces gauches.

Des biais très-élevés ont été atteints en Angleterre, comme je l'ai dit à l'article 18.

Je cite de nombreux passages des auteurs anglais. Je les avais traduits avec beaucoup de soin, mais au dernier moment je me suis décidé à reproduire le texte lui-même pour éviter tout reproche d'inexactitude.

23. En France, avant les appareils pour les grandes obliquités, nous avons eu le *biais passé* dont le P. Derand paraît avoir le premier donné la description (1643), puis les appareils spéciaux de Perronet et de Gauthey.

M. Lefort a fait paraître, en 1839, un Mémoire sur les appareils modernes.

M. Adhémar, qui devait plus tard publier un ouvrage relatif aux ponts obliques, a inséré, en 1840, un article sur ces constructions dans la seconde édition de son Traité de la coupe des pierres.

Bientôt après, M. de Gayffier a donné une traduction de l'ouvrage de Buck.

En 1851, j'ai proposé quelques modifications pour les tracés. L'année suivante, M. Graeff et M. Praly ont publié, dans des recueils, des Mémoires dont ils ont ensuite formé des ouvrages spéciaux.

Dans l'année 1854, M. Hachette a fait connaître l'*appareil cycloïdal*.

En 1856, M. Faye a indiqué une modification à l'appareil hélicoïdal; M. Le Blanc et M. L'Eveillé ont soutenu la doctrine du parallélisme des pressions aux plans de tête, et ce dernier a donné la description d'un appareil mixte.

Enfin, en 1861, M. Lucas a proposé de former les lits des assises, dans les ponts d'un grand biais, avec des hélicoïdes gauches excentriques.

24. On lit, dans divers ouvrages, que les arches biaises

sont anciennes en Italie, et on cite d'après Vasari (édition de 1568) un pont oblique construit vers 1530, sur le Mugnone, près la porte San-Gallo à Florence, par Nicolo il Tribolo. Aucun renseignement sur son appareil n'est parvenu jusqu'à nous.

Je ne connais qu'un seul auteur italien, M. Curioni, qui se soit occupé des ponts biais.

J'ai fait venir d'Allemagne plusieurs ouvrages sur ce sujet. Je dois avouer que je n'ai pu les apprécier que par les formules et les figures, car je ne lis pas l'allemand. Un de mes jeunes camarades des ponts et chaussées a bien voulu me traduire quelques passages, mais je ne pouvais abuser de sa complaisance.

Je ne crois pas qu'il ait été rien publié en espagnol sur les ponts biais.

On lit dans le *Civil Engineer*, april 1846 :

« Now visiting the Alcazar (cathedral at Seville), but first observed a singular moorish skew arch, in a narrow street leading from the cathedral to the puerta de Xeres; it proves that the moors practised this new assumed modern invention at least eight centuries ago. » — *Ford's Spain.*

ADHÉMAR. — *Traité théorique et pratique des ponts biais.* Paris, 1856.

M. Adhémar donne des tracés complets pour l'appareil orthogonal et l'appareil hélicoïdal avec des lits exactement normaux à l'intrados. On trouve ses opinions sur les pressions aux chapitres II et V ; elles sont, en général, conformes à celles que j'ai exposées; néanmoins dans quelques passages, notamment aux articles 3 et 406, l'auteur paraît penser que l'appareil peut avoir de l'influence sur la direction des pressions.

La propriété des trajectoires orthogonales était connue avant les travaux de M. Adhémar; mais il revendique la priorité pour la proposition de former les lits de surfaces cylindriques perpendiculaires aux plans de tête et ayant pour directrices des trajectoires orthogonales, disposition que j'ai indiquée à l'ar-

ticle 13 et qu'il regarde, avec raison, comme de nature à supprimer toute poussée au vide (p. 263).

ADIE. — On the construction of the bridges of the Bolton and Preston Railway. (*Minutes of proceedings of the Institution of civil Engineers*, 21 june 1842.)

Les Anglais attribuent l'invention de l'appareil orthogonal (equilibrated courses) à M. Adie qui l'a employé au pont de Lancastre sur le chemin de fer de Bolton à Preston. Le Mémoire de M. Adie ne fait pas connaître la date de la construction de ce pont; M. Dobson indique l'année 1838 (about 1838). Plusieurs ponts du chemin de fer de Paris à Saint-Germain, ouvert en 1837, ont été construits avec le même appareil; M. Lefort l'a décrit en 1839. Il paraît donc hors de doute que, sur ce point, la priorité appartient à la France.

Dans le Mémoire de M. Adie, la partie consacrée au pont de Lancastre est très-succincte. J'en rapporterai seulement deux phrases.

« The bed joints intersects at right angles all the lines of sections of the intrados, made by vertical planes, parallele to the elevation.....; he states that he has not met with any description of an arch executed in this manner, but he considers it the only true principle. »

M. Dobson donne dans son ouvrage, dont je parlerai plus loin, les dessins généraux du pont de Lancastre (fig. 13, art. 42): l'ouverture droite et l'ouverture oblique sont respectivement de 25^{p} et de 41^{p} 2^{p}. Ces nombres conduisent à une obliquité d'environ 52°,30′.

M. Adie a imaginé pour la construction du pont de Chorley, sur le même chemin de fer, un appareil dans lequel les lignes d'assise se composent de droites prolongées, près de chaque tête, par des *arcs de cercle* qui rencontrent normalement la courbe de tête. Il est probable que c'est dans le développement de l'intrados que les dernières parties des lignes d'assise sont des arcs de cercle.

M. Bashforth a proposé pour cet appareil des modifications qui le rendent identique avec l'appareil orthogonal convergent.

Bashforth. — A practical Treatise on the construction of oblique bridges with spiral and with equilibrated courses. London, 1855.

Cet ouvrage comprend trois parties :

La première est consacrée à l'appareil hélicoïdal. L'auteur adopte pour lignes de joint sur les têtes des droites convergeant vers le point que M. Buck appelle foyer (p. 12, 13); les lits sont par suite normaux à l'intrados.

La seconde partie contient la théorie et les formules de l'appareil orthogonal ordinaire ou parallèle, sur lequel M. Adie n'avait donné que des indications très-brèves.

Dans la troisième partie, l'auteur décrit l'appareil orthogonal convergent et donne toutes les formules nécessaires aux applications. Il place la droite de convergence à une distance de l'axe du cylindre d'intrados égale à l'ouverture droite (p. 49).

L'auteur croit qu'il convient d'éviter le plein cintre dans l'appareil hélicoïdal à cause de l'obliquité des lits sur les têtes, et dans l'appareil orthogonal par égard pour la difficulté de l'agencement des lits près des angles aigus des culées (p. 42).

L'ouvrage de M. Bashforth a été traduit en allemand.

Bauernfeind. — *Vorlegeblatter zur Brückenbaukunde*, *München*, 1853.

Indications générales sur l'appareil orthogonal et sur l'appareil hélicoïdal elliptique, avec lits obliques sur la douelle et lignes de joint normales à la courbe de tête.

B. H. B. — Skew Arches. (*Civil Engineer and Architect's Journal*. April 1840.)

Pendant plusieurs années, à partir de 1838, le *Civil Engineer* a contenu de nombreux articles sur les arches biaises. La plupart d'entre eux ne présentent aujourd'hui qu'un médiocre intérêt, et je ne les mentionnerai pas, mais je dois faire une exception pour celui que je viens d'indiquer.

L'auteur, qui ne se fait connaître que par des initiales, présente diverses observations à l'occasion de l'ouvrage de M. Buck. Il remarque d'abord que la solution exacte du problème est

obtenue non par des hélices, mais par des trajectoires orthogonales aux sections de l'intrados par des plans parallèles aux têtes. Il ne donne pas l'équation de ces courbes, mais il en trace une sur le développement de la douelle. M. Adie n'avait pas encore publié son Mémoire sur le pont de Lancastre.

Le correspondant anonyme du *Civil Engineer* pense que les tracés de l'appareil équilibré sont trop compliqués pour qu'on puisse espérer de le voir entrer dans la pratique courante, et il cherche à modifier l'appareil hélicoïdal, de manière à augmenter la stabilité qu'il assure à la voûte.

Sur le développement de l'intrados, et par le milieu de la génératrice qui passe au sommet, il mène une droite perpendiculaire aux cordes des sinusoïdes des têtes. Cette ligne divise chacune des cordes en deux segments. Il partage les quatre segments en un même nombre de parties ayant des grandeurs convenables pour les voussoirs : les droites qui joignent les points de division deux à deux, sont les lignes d'assise sur le développement.

L'auteur a soumis à de fortes charges un modèle en relief de cet appareil : les ruptures ont indiqué des forces dirigées suivant les lignes des têtes.

Dans l'appareil hélicoïdal ainsi modifié, l'angle intradossal diminue graduellement depuis la partie haute de la voûte jusqu'à l'imposte ; les surfaces des lits ne sont plus identiques ; les assises ont des largeurs différentes ; mais on supprime les sommiers à redans, et la poussée au vide, près des naissances, devient bien plus faible, surtout dans les pleins cintres.

L'auteur propose une seconde disposition qui n'altère en rien les avantages de l'appareil hélicoïdal, et qu'il regarde comme propre à augmenter la stabilité, mais dans un moindre degré. Elle consiste à diminuer l'angle intradossal naturel. Je reviendrai sur cette question.

A la fin de l'article, on trouve des observations judicieuses sur les formules données par M. Buck dans son dernier chapitre.

BOUCHER. — Note sur la construction des voûtes biaises au moyen d'une série d'arcs droits accolés les uns aux autres. (*Annales des ponts et chaussées*, 1848, 1er semestre.)

Je ne mentionne ce Mémoire que parce qu'on y voit que M. Boucher a construit avec un plein succès plusieurs voûtes biaises hélicoïdales, dont une à 45 degrés, sans les partager en zones.

Buck (George-Watson). — A practical and theoretical Essay on oblique bridges, London, 1839. — M. Barlow a fait paraître, en 1857, une seconde édition de ce traité en y joignant comme appendice une note qu'il avait déjà publiée sous le titre de : *Description to diagrams for facilitating the construction of oblique bridges.*

M. de Gayffier a publié, avec des notes, une traduction de l'ouvrage de Buck dans la seconde partie du *Nouveau Manuel complet des ponts et chaussées* de l'Encyclopédie Roret.

On trouve dans l'ouvrage publié à Londres, en 1838, sous le titre de *Public works of great Britain*, la description et les dessins du pont de Box-Moor oblique à 32 degrés, construit par Buck à la rencontre du chemin de fer de Londres à Birmingham avec la route de Londres à Berkhampstead (p. 85 et pl. xvi).

A. L'ouvrage de Buck est entièrement consacré à l'appareil hélicoïdal proprement dit, c'est-à-dire au cas où la surface de l'intrados appartenant à un cylindre de révolution, les lignes d'assise sont de véritables hélices; il indique un notable progrès pour cet appareil, qui satisfait à tous les besoins de la pratique ordinaire.

Les tracés donnés par Nicholson et par Hart placent sur les têtes les lignes de joint normales à la courbe de tête; il en résulte que les lits des voussoirs rencontrent obliquement l'intrados [1]. Buck rétablit la normalité exacte des lits sur la douelle, et cependant ses tracés sont plus simples, parce que l'observation lui a fait reconnaître l'existence d'un point de concours très-utile qu'il appelle foyer (chap. II). Les lits deviennent des surfaces de vis à filets carrés, et de cette circonstance résultent diverses facilités pour l'application du trait sur la pierre.

Buck donne sur les tracés et sur toutes les parties de la construction des détails précis qui révèlent une très-grande

1. Voir l'article consacré à M. Graeff.

expérience. On comprend, en le lisant, que l'on est en présence d'un ingénieur sûr de son sujet, et on n'est pas surpris de le voir émettre sur un point important une opinion contraire aux idées généralement acceptées.

Il avance, en effet, que, dans l'appareil hélicoïdal, lorsque l'obliquité de l'arche dépasse une certaine limite, les surfaces des lits sont moins déviées de la normalité aux plans de tête, et qu'il en résulte plus de facilité pour l'établissement de l'ouvrage, à égalité d'ouverture oblique (p. 45) ; assertion dont il ne donne pas de preuve positive, mais que des recherches ultérieures ont pleinement confirmée.

M. Barlow place le livre de Buck au premier rang : on lit dans sa note sur les diagrammes : « In M. Buck's Work, which justly claims pre-eminence, both as to its theoretical as well as its practical exposition of the subject..... »

B. L'hypothèse du parallélisme des pressions aux têtes est admise par Buck, et sans être explicitement énoncée, elle sert de base à toutes les considérations et à tous les calculs exposés au chapitre VII.

Buck cherche d'abord à quelle hauteur au-dessus de l'axe de l'intrados la pression est normale aux lits. Il dit que ce ne peut être aux naissances, parce que les lits y sont obliques sur les têtes ; puis il détermine la hauteur cherchée par la condition que le plan tangent du lit soit perpendiculaire aux plans de tête. Tout ce chapitre est du plus grand intérêt, et montre complétement la doctrine de Buck. Je rapporterai seulement quelques mots.

« The bed of the voussoir at the springing of the arch is not at right angles to the face of the arch, and consequently does not present an abutment perpendicular to the thrust, which is essential to the perfect stability of the bridge (p. 41). »

C. Lorsque Buck construisit le viaduc biais de Watford, il ne savait pas encore déterminer par le calcul la hauteur à laquelle les plans tangents des lits sont perpendiculaires aux têtes. Il fit cette recherche sur un modèle préalablement construit, et il reconnut dans quelles parties des tirants en fer pouvaient être nécessaires par suite de l'obliquité des lits.

Buck a ainsi marché d'une manière sûre, en s'appuyant sur une géométrie et une mécanique expérimentales; aussi n'est-il pas étonnant que les résultats qu'il présente aient été admis par les ingénieurs, bien que quelquefois ses raisonnements soient insuffisants.

D. On a vu que Buck avait construit un pont oblique à 32 degrés pour le chemin de fer de Birmingham; il fixe à 25 degrés la limite de l'obliquité qu'on peut donner à une voûte hélicoïdale en plein cintre sur sa section droite (chap. VII). Buck pense d'ailleurs que l'arc de cercle est préférable au plein cintre dans les grands biais (chap. VII).

E. Pour ce qui concerne les diagrammes de M. Barlow, je me borne à dire qu'ils sont établis pour tous les biais à partir de 30 degrés.

Les tables de M. Haskoll, qui du reste ne sont relatives qu'aux longueurs des ouvertures biaises, vont jusqu'à l'obliquité de 25 degrés. (Railway construction, etc., p. 108).

Carvallo. — Étude sur la stabilité des voûtes. (*Annales des ponts et chaussées*, 1853, 1er semestre.)

Après avoir traité de l'équilibre des berceaux droits, l'auteur dit quelques mots sur les autres voûtes. Voici les passages importants de l'article qu'il consacre aux arches biaises (p. 42.)

« Imaginons que l'on coupe la voûte cylindrique établie sur la section droite par deux plans de têtes verticaux parallèles entre eux... On obtient par cette section les dimensions à donner au berceau cylindrique biais, ainsi que les courbes de pression sur les têtes.

« Il est à remarquer néanmoins que les pressions n'étant pas dans les plans des têtes, il existe une force perpendiculaire à chacun de ces plans, dirigée vers l'angle aigu de chaque culée et formant ainsi un couple tendant au renversement de la partie la moins solide de la construction.

« Il faut dans l'établissement des culées tenir compte de cette force... Elle peut varier suivant l'appareil...

« On peut éviter de recourir à cette considération en rempla-

çant dans les biais trop prononcés les voûtes biaises par une série d'arcs droits... »

CÈTRE. — Ponts biais elliptiques. Coupe des voussoirs de tête. (*Annales des conducteurs des ponts et chaussées*, 1865.)

L'appareil adopté est hélicoïdal avec lignes de joint, sur les têtes, normales à la courbe d'intrados.

CHAPMAN. — Oblique bridges. (*Rees's Cyclopedia*, London, 1819.)

Il paraît hors de doute que c'est à Chapman que l'on doit les premiers ponts d'un grand biais.

A. Cet ingénieur fut chargé, en 1787, des travaux du canal du comté de Kildare, embranchement du grand canal d'Irlande. Les directeurs ayant exprimé le désir que les routes ne fussent pas déviées, Chapman reconnut que, pour construire des ponts d'une obliquité suffisante, il fallait établir les assises dans une direction normale aux têtes, au lieu de les faire parallèles aux culées. Il éleva, d'après ces idées, plusieurs ponts biais. dont un, celui de Finlay, près la ville de Naas, a une obliquité de *trente-neuf degrés*. La solidité de ces ouvrages n'a rien laissé à désirer.

B. Sans entrer dans beaucoup de détails, je crois devoir donner quelques indications sur les tracés.

Chapman détermine sur le développement de l'intrados un certain nombre de courbes transformées des sections par des plans parallèles aux têtes et équidistants, puis des génératrices rectilignes également équidistantes ; il trace des lignes passant en diagonale par les sommets des carreaux ainsi obtenus : ces courbes qu'il appelle *polygoniques* servent de régulatrices pour l'établissement des lignes d'assise.

Les espacements des lignes des deux séries, qui forment les carreaux, sont réglés de manière que la diagonale correspondant au milieu d'une courbe de tête soit perpendiculaire à la tangente de cette courbe au point d'inflexion.

Dans les arches surbaissées, les lignes d'assise ainsi obtenues

n'ont qu'une très-faible courbure sur le développement de l'intrados. C'est ce qui arrive au pont de Finlay dont la courbe de tête est un arc de cercle de 25 pieds d'ouverture et de 5 pieds 6 pouces de montée. Après la réussite de ce pont, le désir de simplifier les tracés a naturellement conduit à l'appareil hélicoïdal.

C. M. Chapman admet pour les ponts obliques établis avec des assises droites une poussée qui n'est pas détruite par une résistance opposée; il dit que plusieurs ponts construits dans ce système se soutiennent plus ou moins bien jusqu'à des obliquités de 80 ou 75 degrés, mais que, dans diverses circonstances, la partie qui dépasse l'angle aigu de la culée s'est lésardée ou même écroulée; que les constructeurs prudents évitent cette disposition et préfèrent un pont droit suffisamment prolongé sur lequel les parapets limitent un passage oblique. Ce système a été employé plusieurs fois en France; mais l'appareil droit a donné dans notre pays des résultats meilleurs que ceux indiqués par Chapman.

Cet ingénieur déclare enfin qu'il n'a connaissance d'aucun appareil spécial pour les arches obliques, avant les travaux qu'il a faits sur le canal du comté de Kildare.

D. Les deux phrases suivantes établissent le principe de construction adopté par Chapman.

« Our author was led to consider whether the usual imperfect method could not be set aside, by the substitution of one on sound principles; and it then occurred that its leading feature must be, that the joints of the voissoirs, whether of brick or stone, should be rectangular with the face of the oblique arch, in place of parallele with its abutment;..... »

« The leading principle of these oblique arches is, that each course of voissoir should run rectangular to the face of the arch. »

Les lits doivent courir parallèlement aux têtes. En d'autres termes les plans tangents des lits doivent être perpendiculaires aux parements des têtes.

Ce principe de construction correspond à la loi du parallélisme des pressions aux plans de tête.

E. Dans un excellent article publié, en 1842, par le *Civil Engineer*, M. Twist établit que l'on doit à Chapman les dispositions essentielles des arches biaises ; il reproche aux auteurs de négliger presque tous de parler de ses travaux, et à Nicholson de lui avoir adressé une critique qui n'est nullement fondée.

Nicholson avait écrit : « He (Chapman) seems entitled to the honour of originating the idea of oblique bridges in their present form, but he does not appear to have laid down any sound principle by which it might be done. »

Chapman, en disant que les assises doivent courir perpendiculairement aux têtes, a posé le véritable principe et a constitué une doctrine bien supérieure à celle de Nicholson qui consiste à former des voussoirs ayant des angles droits : « right-angled solids. »

Du reste, Nicholson a trouvé qu'il en disait encore trop, car, à la seconde édition de son traité spécial, il a supprimé le nom de Chapman.

L'Encyclopedia Britannica (supplément, art. Stone masonry) et le traité de M. Bashforth (p. 43), mentionnent les travaux de Chapman. John Rennie en a parlé dans l'important discours qu'il a prononcé le 20 janvier 1846, à son installation comme président de la Société des ingénieurs civils. Il a ajouté que Stephenson a le premier construit des ponts biais pour les chemins de fer.

Collignon. — Exposé de la situation de la mécanique appliquée. (*Recueil de rapports sur les progrès des lettres et des sciences en France*, Paris, 1867.)

M. Collignon repousse l'opinion que les arches biaises seraient soumises à une poussée au vide résultant de la forme de la voûte et indépendante de l'appareil. Je reproduis les principaux passages de son travail.

« Un grand nombre de constructeurs ont admis l'existence d'une *poussée au vide*, qui existerait dans toutes les voûtes biaises, bien ou mal construites, et qui, quoi qu'on fasse, tendrait toujours à compromettre plus ou moins leur stabilité. On prétend justifier l'existence de cette force obscure, en décomposant la voûte en parties qui ne seraient point en équilibre

d'elles-mêmes et sans l'intervention des parties voisines; et, comme on néglige cette intervention parce qu'elle est trop difficile à apprécier, on arrive à conclure que toute arche biaise a une tendance à la rupture. Un tel raisonnement ne prouve rien. On peut conclure avec sûreté que la réunion de systèmes individuellement en équilibre donne un système en équilibre, dont la stabilité ne saurait être altérée par de nouvelles liaisons; mais on n'est pas autorisé à affirmer que des morceaux qui ne sont pas en équilibre par eux-mêmes conserveront leur tendance au renversement, après qu'on les aura liés les uns aux autres. On pourrait employer un raisonnement analogue pour prouver l'existence d'une poussée au vide dans les arches droites. Nous l'avons dit, les faits qui ont paru aux constructeurs démontrer l'existence de la poussée au vide dans les voûtes biaises sont le résultat d'un vice de l'appareil..... » (P. 185, 186.)

M. Collignon parle ensuite des tirants en fer employés par certains constructeurs et ajoute :

« La théorie et l'expérience sont d'accord pour montrer que, dans une voûte biaise bien appareillée, de semblables consolidations sont tout à fait inutiles. Cette doctrine a été soutenue avec un talent remarquable par M. Le Blanc, ingénieur des ponts et chaussées, dans un article des Annales; et les grands ponts biais qu'il a construits sur la ligne de Rennes à Redon, et dans lesquels le fer n'entre pas, confirment de la manière la plus éclatante les idées théoriques développées dans ce mémoire. On est donc fondé à affirmer aujourd'hui que la poussée au vide ne se manifeste jamais dans les voûtes construites suivant un appareil satisfaisant, dont le type est l'appareil orthogonal de M. Lefort. » (P. 186 et 187.)

M. Collignon a reproduit les mêmes idées dans son *Cours de mécanique*.

COMBIER. — Note sur la détermination des panneaux qui servent à la taille des voussoirs dans les ponts biais. (*Annales des ponts et chaussées*, 1854, Semestre 1.)

Les tracés s'appliquent à l'appareil hélicoïdal et à l'appareil hélicoïdal elliptique, avec lignes de joint normales à la courbe de tête.

Curioni. — L'arte di fabricare. Costruzioni civili stradali ed idrauliche. Seconda edizione, Torino, 1872.

M. Curioni considère la poussée au vide comme résultant de la décomposition des pressions à la rencontre des surfaces de lit, du côté de l'angle aigu de la culée (p. 383, 384). Il regarde que, dans la combinaison d'un appareil, on doit avoir pour but d'annuler ou au moins de réduire beaucoup la poussée au vide, et d'obtenir des voussoirs ayant des angles droits (p. 385).

L'auteur donne sur l'appareil hélicoïdal des détails étendus qui font de cette partie de son livre un traité sur la matière. Il adopte, pour les lits, des surfaces de vis à filets carrés exactement normales à l'intrados.

Dans le cas des longues arches, M. Curioni conseille de n'appareiller biais que la partie voisine de chaque tête, mais il n'indique aucune règle précise pour le raccordement (p. 406). Sur la figure qui accompagne le texte, la partie *biaise* s'étend à une distance de l'angle aigu de la culée égale à la moitié de l'ouverture droite.

M. Curioni consacre quelques lignes à l'appareil orthogonal et à l'appareil cycloïdal.

Derand. — L'Architecture des voûtes, Paris, 1643.

L'appareil du biais passé est complétement décrit par le P. Derand (p. 122). Tous les auteurs qui ont écrit après lui sur la coupe des pierres ont reproduit cet appareil. Je citerai seulement le P. Dechalles qui l'appelle *Arcus obliquus perfectus.*

Dans le biais passé, les lits sont des plans normaux aux plans de tête et obliques à l'intrados.

Nicholson a proposé une modification au biais passé.

M. Lejeune donne quelques renseignements sur les applications récentes de cet appareil. (*Coupe des pierres*, p. 538.)

Dobson. — The Rudiments of masonry and Stonecutting, sixth edition. London 1870.

On trouve dans cet ouvrage des détails intéressants sur l'historique de l'arche biaise.

L'auteur fait connaître d'une manière sommaire les tracés de M. Adie et de M. Hart : il adopte ceux de M. Buck dans leurs dispositions essentielles. Ainsi, il prend pour lignes de joint sur les têtes des droites qui divergent du foyer, tout en exprimant l'opinion que la voûte a une meilleure apparence, lorsqu'elles sont normales à la courbe de l'intrados (p. 30).

DONALDSON. — A Treatise on the art of constructing oblique arches with spiral courses. London, 1867.

L'auteur repousse complétement le plein cintre dans le système hélicoïdal (p. 7 et 23). Il adopte des lits normaux à l'intrados, et par suite il établit une convergence exacte des lignes de joint sur les têtes, vers le foyer.

J'ai remarqué dans l'ouvrage de M. Donaldson une méthode pour simplifier la taille et supprimer les voussures, en dressant les parements des têtes suivant des surfaces gauches.

La voie supérieure est comprise entre les droites AB, CD, et la voie inférieure entre EG et FH ; AEGC et FHDB sont les retombées des voussoirs sur les culées ; l'intrados et l'extrados ont pour courbes de tête des arcs d'ellipse projetés, les premiers sur EF et GH, les autres sur AB et CD. La surface comprise entre les deux ellipses est engendrée par une droite qui rencontre ces courbes et qui, prolongée, va couper l'axe du cylindre.

Quand l'arche est surbaissée, les arcs d'ellipse diffèrent peu d'arcs d'hélice. En adoptant ces dernières courbes on a, pour les

Fig. 2.

parements des têtes, un hélicoïde identique à celui des joints discontinus. Les lignes de joint sur les têtes sont des droites

exactement normales à l'intrados. M. Donaldson donne tous les détails pour cette solution qui, du reste, avait déjà été proposée en France par M. Faye dès 1856.

D'après les renseigements que M. Donaldson a bien voulu me transmettre, il n'a pas encore été construit de pont avec des têtes gauches. Les avantages de ce système dans les grands biais me paraissent d'ailleurs incontestables. Avec des têtes planes, en effet, on est obligé de mettre des voussures de quelque étendue aux ponts très-obliques, et de là résultent des difficultés pour la taille et pour la pose. Ensuite, les voussures ayant une ouverture plus grande que la voûte principale, les inégalités de tassement se produisent facilement.

Quelques personnes penseront peut-être qu'une arche avec des têtes gauches serait d'un aspect désagréable, mais je crois que toute disposition justifiée porte en elle un principe d'harmonie. Dans tous les cas, il me semble qu'un essai pour des constructions économiques serait pleinement justifié.

Dupuit. — Traité de l'équilibre des voûtes, Paris, 1870.

On doit faire remonter cet ouvrage à 1866, année de la mort de M. Dupuit. L'autorité qui s'attache au nom de cet ingénieur m'engage à citer textuellement les passages relatifs à l'équilibre des voûtes biaises.

A. On lit ce qui suit à la page 217.

« Imaginons qu'un berceau droit, construit avec l'appareil ordinaire, c'est-à-dire, avec les deux systèmes de joints perpendiculaires, dont l'un est parallèle aux têtes et l'autre est dirigé suivant les arêtes mêmes du cylindre, soit coupé par deux plans obliques sur l'axe du berceau. Il est évident que l'équilibre sera détruit et que les parties de voûtes triangulaires des extrémités se détacheront suivant la section droite passant par le sommet de l'angle obtus. Il ne restera qu'un berceau droit plus court que le berceau primitif de toute la longueur du biais. Cet accident n'arriverait pas si tous les voussoirs étaient composés d'une tête à l'autre d'une seule pierre, ou si seulement les voussoirs de tête étaient assez longs pour être tous engagés suffisamment dans la partie droite. C'est ce qui arrive quand le biais est très-

peu prononcé ; la séparation par une section droite ne saurait s'accomplir, parce qu'elle ne pourrait se faire que par la rupture des voussoirs ; la chute du triangle ABB' n'aurait lieu qu'autant que tous les voussoirs de tête se briseraient. Quand le biais est très-prononcé, cette séparation se fait facilement par les joints perpendiculaires aux arêtes. La force qui la produit et qui provient de l'absence de triangle symétrique s'appelle *poussée au vide*. »

C'est la doctrine des pressions dirigées dans les plans des sections droites et de la poussée au vide indépendante de l'appareil, présentée comme évidente.

B. M. Lefort en partant des mêmes prémisses est arrivé à l'appareil orthogonal, mais seulement après avoir supposé les pressions amenées au parallélisme des plans de tête par une division *effective* de la voûte. Lorsque M. Dupuit a écrit, les zones étaient à peu près abandonnées, et il ne pouvait les prendre en considération. Il parvient cependant au même appareil. Son raisonnement doit être examiné avec attention.

C. Je continue la citation sans passer une ligne.

« La poussée dans les voûtes biaises est aussi facile à calculer que dans les voûtes droites. Si on imagine qu'une voûte de cette nature soit décintrée, les deux demi-voûtes s'appuieront l'une sur l'autre en tournant autour de la génératrice pour laquelle le moment de rotation est un maximum. Or, il est facile de reconnaître que cette génératrice est la même que dans le cylindre droit, car on peut imaginer un cylindre droit de même longueur que le cylindre oblique et dont les voussoirs auraient le même poids et la même abscisse pour le centre de gravité. La section droite étant la projection de la section oblique, la recherche du joint de rupture se fera de la même manière et déterminera la même arête. On peut aussi considérer le cylindre oblique comme divisé en une série de tranches parallèles aux têtes, formant des cylindres droits, et appliquer à ces cylindres les conditions d'équilibre des sections droites. »

J'aurais diverses observations à faire sur ce passage, mais je ne m'arrête qu'à la dernière phrase.

Je ne comprends pas comment on peut obtenir des cylindres

droits en coupant l'intrados oblique par des plans parallèles aux têtes. Ensuite, pour que l'on puisse appliquer aux nouveaux cylindres les conditions d'équilibre des sections droites, il faut que les pressions soient parallèles à leurs têtes qui sont elles-mêmes parallèles aux têtes de l'arche oblique; or une division idéale ne saurait modifier la direction des pressions.

D. Je ne prolongerai pas la citation; la suite du raisonnement n'offre aucun intérêt particulier. M. Dupuit arrive aux trajectoires orthogonales, en supposant que le nombre des cylindres droits augmente indéfiniment.

Le premier passage que j'ai cité semblait conduire à la conclusion toute différente, qu'on devait donner aux voussoirs des têtes une longueur assez grande pour qu'ils fussent engagés suffisamment dans la partie droite.

On me pardonnera d'avoir ainsi discuté l'opinion d'un ingénieur éminent et regretté; mais, à mon point de vue, la question est capitale. Il est évident que si l'on peut déduire l'appareil orthogonal de l'hypothèse du parallélisme des pressions aux plans des sections droites et d'une poussée au vide préexistante, toute la théorie que je soutiens s'écroule.

E. M. Dupuit propose deux modifications : la première, pour l'appareil orthogonal convergent, consiste à ne pas faire passer par une même droite les plans des sections, mais à les déterminer par une autre loi continue. La seconde est relative à l'appareil hélicoïdal : on diminuerait graduellement l'angle intradossal d'une assise à l'autre depuis la partie haute de la voûte.

Cette disposition avait déjà été indiquée en 1840 dans le *Civil Engineer*. Voir l'article consacré à M. B. H. B.

Faye. — Nouvel appareil pour les arches biaises en arc. (*Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences*, 6 *octobre* 1856.)

M. Faye propose de dresser les parements des têtes suivant des hélicoïdes identiques avec ceux des joints discontinus. Il appelle son appareil *hélicoïdal pur*.

« ..... Tous les voussoirs sont égaux dans ce système et peuvent être moulés dans le même moule ou taillés avec la même machine..... Les courbes des têtes ne sont pas tout à fait planes, mais cet inconvénient peut disparaître soit par une sorte de ragréage, soit par la pose de voussoirs spéciaux d'un fort échantillon. » (Voir l'article consacré à M. Donaldson.)

FOX. — On the construction of skew arches.

Le mémoire de M. Fox a été communiqué d'abord à l'institut des ingénieurs britanniques, puis inséré dans le *Philosophical Magazine* (juin 1836), enfin publié séparément.

L'importance du travail de M. Fox résulte surtout de sa date. Parmi les dispositions qui y sont adoptées, la seule qu'il me paraisse intéressant de signaler ici, est la manière dont l'auteur détermine les surfaces des lits : les hélices qu'il prend pour directrices, et qui deviennent en développement perpendiculaires aux cordes des sinusoïdes des têtes, sont tracées sur un cylindre dont le rayon est une moyenne arithmétique entre les grandeurs des deux rayons de l'intrados et de l'extrados. Par ce tracé, l'angle des hélices d'intrados avec les génératrices est plus petit que lorsque la perpendicularité est établie sur la douelle même. Je reviendrai sur cette question.

L'ouvrage de M. Fox a donné lieu, en 1838, à une polémique assez vive dans le *Civil Engineer*. Un article, signé C. L. O., contient des indications très-exactes sur la direction des pressions.

GAUTHEY. — Traité de la construction des ponts, publié par Navier, 2e édition. Paris, 1832.

On lit à la page 390 : « Quand la génératrice de la douelle n'est pas perpendiculaire aux têtes et que l'angle du biais n'est pas grand, la voûte se construit comme à l'ordinaire et les joints de douelle sont formés par des arêtes de la surface cylindrique de cette voûte. Mais quand cet angle passe 20 à 25 degrés[1], cette disposition n'est plus admissible, parce qu'une partie des voussoirs pousserait alors au vide, à moins que les pierres dont

1. Ces nombres indiquent des obliquités de 70 à 65 degrés. — Dans l'édition de 1809, on lit : « 25 à 30 grades, » p. 290.

ils seraient formés n'eussent une très-grande longueur. On a imaginé différents moyens pour construire, dans ce cas, des voûtes biaises; nous allons indiquer succinctement celui dont nous avons toujours fait usage. »

Gauthey expose alors l'appareil auquel on donne quelquefois son nom, bien qu'il ne dise pas l'avoir inventé. Les voussoirs des têtes ont leurs lits perpendiculaires aux plans de tête, et se raccordent à joints brisés avec les assises horizontales du corps de la voûte.

Les idées de Gauthey, sur les pressions qui se développent dans une arche biaise, ne ressortent pas d'une manière claire de ce qu'il a écrit. L'avantage qu'il trouve aux voussoirs d'une très-grande longueur semble indiquer qu'il regardait les bandeaux des têtes comme formant un encorbellement; mais alors pourquoi retourner les joints d'équerre au parement?

Il est remarquable de voir l'art marcher toujours dans la même direction, malgré les incertitudes et les contradictions.

Je n'ai trouvé nulle part des renseignements précis sur les plus grandes obliquités qui ont été réellement atteintes avec l'appareil de Gauthey. M. Dupuy l'a employé récemment avec succès pour le viaduc de Lépau, sur le chemin de fer de Vendôme; mais le biais de cet ouvrage est seulement de 76 degrés. Gauthey donne le dessin d'une arche oblique à 45 degrés, sans dire si elle a été exécutée.

De la Gournerie. — Considérations géométriques sur les arches biaises (*Annales des ponts et chaussées*, 1851, 2e semestre). — Note sur les arches biaises. (*Annales des ponts et chaussées*, 1853, 1re semestre.)

A. Je me suis occupé des tracés dans les divers appareils, et je crois les avoir simplifiés sur quelques points.

Connaissant l'inclinaison des lits, sur les têtes, à une hauteur angulaire donnée, on peut facilement calculer le rapport de la poussée au vide à la pression totale qui s'exerce à cette hauteur.

J'ai établi, pour l'appareil orthogonal et pour l'appareil hélicoïdal, de petites tables qui font connaître ce rapport dans les différents biais et aux diverses hauteurs. L'inspection des tables met en évidence quelques circonstances qui étaient déjà con-

nues, et leur emploi dispense de recourir aux formules données par M. Buck dans son dernier chapitre.

J'ai indiqué la diminution de l'angle intradossal comme propre à augmenter la stabilité d'une arche hélicoïdale et à rendre la taille des voussoirs plus facile. Cette disposition a été peu remarquée. M. Graeff l'approuve avec quelques réserves (*Appareil*, p. 133); M. Praly pense qu'elle aurait pour effet de rendre l'appareil hélicoïdal « impraticable » (*Études*, p. 103).

B. Bien que je n'aie pas cessé de m'occuper de l'arche biaise, j'avais complétement perdu de vue mes Mémoires de 1851 et de 1853. J'y retrouve des opinions que mes études prolongées ont fortifiées, en leur donnant plus de netteté. Les diverses considérations que j'ai présentées et tous les calculs sont établis sur l'hypothèse du parallélisme des pressions aux plans de tête, qui est d'ailleurs explicitement exprimée à la page 103 du premier Mémoire.

C. Je dois reconnaître que lorsque j'ai écrit sur l'arche biaise, je n'avais pas une connaissance suffisante des auteurs anglais. J'ignorais notamment que la réduction de l'angle intradossal fût une conséquence des tracés de M. Fox, et qu'elle eût été proposée, en 1840, dans une note publiée par le *Civil Engineer* (Voir l'article consacré à M. B. H. B.).

M. Fox, comme je l'ai dit, établit les hélices directrices sur un cylindre intermédiaire entre l'intrados et l'extrados. En ayant égard aux dimensions ordinaires des voûtes biaises, on trouve que la disposition qu'il a adoptée réduit d'environ un quart la tangente de l'angle intradossal dans le cas du plein cintre. J'ai proposé la réduction du cinquième, craignant qu'une plus grande diminution de l'angle intradossal ne donnât trop d'obliquité aux lits dans la partie haute de la voûte.

L'article publié par le *Civil Engineer* contient une règle qui conduit, en réalité, au même résultat que mon tracé. L'angle du biais étant θ, la tangente de l'angle intradossal naturel est égale à $\frac{2}{\pi}\cot\theta$, dans le cas du plein cintre. Par la réduction du cinquième, elle devient $\frac{8}{5\pi}\cot\theta$. Le correspondant

du *Civil Engineer* propose de donner à cette tangente la valeur $\frac{1}{2}$ cot θ, qui, dans une question de ce genre, doit être considérée comme égale à la précédente.

Le cylindre intermédiaire de M. Fox était d'un emploi incommode, et je ne suis pas surpris qu'on lui préfère les tracés plus faciles de M. Nicholson ou de M. Buck. La réduction de l'angle intradossal, proposée dans le *Civil Engineer*, ne paraît pas avoir été remarquée; du moins je ne l'ai vu apprécier dans aucun ouvrage. Je crois donc que l'expérience n'a pas prononcé sur cette question, et je persiste à penser que, dans les tracés ordinairement suivis, on attribue à l'intrados, pour les pressions, une importance qu'il n'a pas.

En réduisant légèrement l'angle intradossal naturel et maintenant d'ailleurs les lits normaux à la douelle, on diminue, près des naissances, leur obliquité sur les plans de tête, et on atténue ainsi le seul inconvénient sérieux que présente l'appareil hélicoïdal. Je dois ajouter que les lignes de joint, sur les têtes, s'écartent moins de la normalité à la courbe de l'intrados.

L'indifférence des ingénieurs, pour cette combinaison, tient peut-être à ce qu'elle paraît surtout utile dans le plein cintre, et que cette forme de l'intrados est peu employée pour les grands biais.

GRAEFF. — *Appareil et construction des ponts biais*, 2e édition, Paris, 1867.

Cet ouvrage contient, avec divers développements, la matière de deux Mémoires publiés dans les annales des ponts et chaussées en 1852 et en 1854.

M. Graeff admet la théorie de M. Lefort sur les effets de la contraction des maçonneries dans une voûte biaise, la poussée au vide et l'appareil orthogonal.

Aux pages 14 et 15, il présente une discussion intéressante sur les divers modes de génération de la surface d'un lit *pour une même ligne d'assise*.

Dans l'appareil orthogonal, les lits rencontrent normalement l'intrados et tous les plans parallèles aux têtes; de plus, les

lignes de joint sur chaque tête sont normales à la courbe de l'intrados.

Lorsque les lignes d'assise ne sont pas des trajectoires orthogonales, et par conséquent quand on adopte des hélices, on doit choisir, entre les trois normalités que je viens d'indiquer, chacune excluant les deux autres, au moins dans une certaine mesure. Dans la disposition adoptée par M. Graeff, la seule normalité exacte est celle des lignes de joint sur les courbes de tête. M. Buck a préféré la normalité des lits sur l'intrados. Enfin, d'après une remarque de M. Graeff, on pourrait, en conservant les hélices pour lignes d'assise, former des lits qui couperaient normalement tous les plans parallèles aux têtes. J'ajouterai qu'il serait possible de ne pas sacrifier complétement deux des normalités à la troisième. De nouvelles recherches sur la surface des lits pourraient encore être utilement faites.

M. Graeff, qui a construit un grand nombre de ponts biais, présente une analyse remplie d'intérêt sur les mouvements qu'il a observés dans les cintres et dans les maçonneries (p. 162, 170). Il arrive à conclure que la division des voûtes biaises en zones est au moins inutile (p. 168, 169).

L'auteur étudie avec soin l'appareil orthogonal convergent. Il propose diverses modifications au tracé des lignes d'assise dans la partie biaise (p. 71), et il indique, pour fixer la longueur des assises droites, une règle différente de celle qui avait été donnée par M. Lefort (p. 179).

M. Graeff termine son ouvrage par une comparaison des divers appareils.

Je ne dois pas négliger de dire que M. Graeff a fait des expériences, desquelles il résulte que l'angle du glissement des pierres dans les maçonneries varie de 30 à 66 dégrés, suivant la nature du mortier (p. 14).

HACHETTE[1]. — Description d'un nouveau procédé pour les voûtes biaises. (*Annales des ponts et chaussées*, 1856, 1er semestre.)

Dans l'appareil *cycloïdal* de M. Hachette, l'intrados appartient

1. Ingénieur en chef des ponts et chaussées, fils du géomètre.

à un cylindre dont la section, par un plan parallèle aux têtes, est un cercle. Les lignes des assises se projettent sur ce plan suivant des cycloïdes engendrées par les différents points du cercle roulant sur (ou plutôt sous) sa tangente supérieure.

Une cycloïde est normale non pas au cercle mobile, mais à la corde qui joint le point où elle le coupe, à celui où il touche la base du roulement. D'après cela, quand la courbe de tête est un arc d'une petite amplitude, la ligne d'assise rencontre les sections parallèles aux têtes sous des angles peu différents d'un angle droit; mais il en est tout autrement dans le cas du plein cintre. Aussi M. Hachette se prononce-t-il pour l'arc de cercle, comme on le voit par le passage suivant de son Mémoire (p. 174) :

« Pour bien saisir les avantages de l'appareil cycloïdal et pour en faire, dans tous les cas, une saine application, il est nécessaire... Cette remarque est importante; elle fait voir clairement l'avantage qu'il y a à surbaisser le plus possible les voûtes biaises. C'est le seul moyen d'avoir des spirales d'assise sensiblement orthogonales. »

M. Hachette, on le voit, regarde que l'appareil orthogonal est le type fondamental. Seulement, en cherchant à supprimer ses inconvénients pratiques, il a marché dans une voie différente de celle que l'on suit ordinairement.

M. Hachette a parfaitement exécuté, avec l'appareil cycloïdal, plusieurs ponts obliques sur le chemin de fer de Paris à Strasbourg; mais je ne crois pas que cet appareil ait été employé par d'autres ingénieurs, et je doute qu'il soit admis définitivement dans la stéréotomie.

L'appareil orthogonal restera toujours le type de la solidité, et, d'un autre côté, il paraît difficile que l'on trouve, pour les courbes cycloïdales, des formules et des tracés aussi simples que ceux qui sont connus pour l'hélice.

Je dois dire cependant que des ingénieurs d'un grand mérite regardent l'appareil cycloïdal comme le plus avantageux. Voir : 1° le *Traité élémentaire des chemins de fer*, par Perdonnet, 3e édition, 1865, 1er vol., p. 489; 2° le *Nouveau portefeuille de l'ingénieur des chemins de fer*, par Auguste Perdonnet et Camille Polonceau, continué par Auguste Perdonnet et Eugène Flachat, Paris, 1866, p. 253. On trouve, dans ce dernier ouvrage, des indications pour une modification à l'appareil cycloïdal.

HART. — *A practical Treatise on the construction of oblique bridges*, seconde edition, London, 1839.

La première édition de cet ouvrage a été publiée en 1837.

M. Hart a élevé beaucoup de ponts biais ; il a employé l'appareil hélicoïdal et l'appareil hélicoïdal elliptique avec des lignes de joint normales, sur chaque tête, à la courbe de l'intrados, et, par suite, des lits obliques sur la douelle.

Les passages suivants font connaître la doctrine de l'auteur :

« The face of the arch being perpendicular, it is of importance that the radiating joints should be straight, and that spiral plane should also be straight at any parallele to the face... » (Page 16.)

« Arches of great obliquity are much the strongest when constructed with a segmental elevation... The more oblique the plan of the bridge, the greater is necessity of keeping the arch flat... the more remote from the summit, the more weak the arch will unavoidably be.» (P. 34.) L'opinion que M. Hart exprime, dans ce dernier passage, ne concerne évidemment que les appareils qu'il a employés.

L'auteur donne le dessin d'un pont oblique à 25 degrés; il pense que l'on peut dépasser beaucoup cette limite (p. 23).

HEIDER. — *Theorie der schiefen Gewölbe*, *Wien*, 1846.

L'auteur propose de faire varier l'angle intradossal de toutes les hélices à diverses hauteurs sur l'intrados. Une ligne d'assise serait composée de plusieurs arcs appartenant à des hélices de différents pas.

Cette disposition est également indiquée dans l'ouvrage de M. Müller.

LE BLANC. — Mémoire sur la stabilité des ponts biais en maçonnerie. (*Annales des ponts et chaussées*, 1856, 1er semestre.)

A. M. Le Blanc a adopté d'une manière très-nette l'hypothèse du parallélisme des pressions aux plans de tête.

Après avoir étudié les forces qui se développent dans un

pont biais et consulté les résultats de l'expérience, il arrive à la conclusion suivante :

« Dans un pont biais, en berceau cylindrique horizontal, à têtes verticales et parallèles quelconques, la poussée est parallèle aux têtes, et le développement des forces qui naissent des mouvements moléculaires et leur composition avec les forces extérieures se font de telle sorte, que les molécules situées dans le voisinage de l'angle aigu des culées ne sont, à aucun instant, exposées à des pressions assez fortes pour altérer leur élasticité. » (P. 76.)

On trouve, à la page 68, une discussion importante sur les mouvements moléculaires qui se produisent au décintrement.

Je dois signaler encore des observations d'un grand intérêt sur les mouvements observés dans les ponts biais.

B. M. Le Blanc, combat avec raison l'opinion que l'on pourrait, par un appareil convenable, déterminer la direction des pressions. Cette doctrine, du reste, n'a été adoptée que par un petit nombre d'ingénieurs. On lit, il est vrai, dans plusieurs Mémoires, qu'il faut combiner l'appareil de manière à reporter les pressions vers les points d'appui; mais on reconnaît assez souvent que la véritable pensée de l'auteur est que l'on doit disposer les voussoirs en vue de pressions dirigées vers les points d'appui.

C. M. Le Blanc a envoyé à l'exposition de Londres, en 1862, un dessin de son beau viaduc biais de Corbinières sur la Vilaine. La légende suivante était inscrite sur le cadre :

« Il n'y a pas de poussée au vide dans une arche biaise;

« Dans celles de ces voûtes qui ont peu de largeur entre les têtes, la poussée est parallèle aux têtes;

« L'appareil a pour objet, non de diriger la poussée, mais de présenter à la direction générale de la poussée des joints à peu près normaux à cette direction, afin d'éviter les glissements. »

Ces principes ont guidé M. Le Blanc d'une manière sûre dans la construction d'un grand nombre de ponts obliques dont quelques-uns sont très-hardis, et pour lesquels il a adopté, suivant les circonstances, l'appareil orthogonal, l'appareil hélicoïdal et l'appareil à assises droites. Il a employé ce dernier

un peu au delà de la limite indiquée par Gauthey, notamment au pont de Bruz [1], dont le biais est de 64 degrés.

M. L'Éveillé et M. Collignon ont adopté les idées exposées par M. Le Blanc; M. Graeff et M. Praly les ont critiquées dans une certaine mesure.

D. Dans un pont biais appareillé droit, la plus grande obliquité des lits sur les plans de tête est précisément l'angle du biais. Nous avons vu que Gauthey fixe la limite de cet angle à 70 ou 65 degrés. Les Anglais ne paraissent pas avoir été aussi loin. Chapman indique pour l'angle complémentaire 10 à 15 degrés, et l'*Encyclopedia britannica* 10 à 12 degrés (voir au supplément l'article Stone Masonry attribué à Tredgold).

Les nombres donnés par Gauthey ne sont pas exagérés, puisque M. Le Blanc a atteint 64 degrés.

Si les lits d'une arche biaise pouvaient, dans tous les cas, rencontrer les pressions sous d'aussi grandes obliquités, l'appareil hélicoïdal ne présenterait aucun inconvénient; car, dans les circonstances les plus défavorables, l'angle des lits sur les plans parallèles aux têtes ne s'abaisse pas au-dessous de 65 degrés. Cependant les constructeurs expérimentés n'osent pas approcher de cette limite avec des maçonneries libres. M. Buck dit expressément qu'il relie par des tirants en fer les parties de la voûte situées au-dessous des génératrices qui rencontrent les lits en des points où leurs plans tangents sont perpendiculaires aux têtes, et il conseille de supprimer ces parties en surbaissant l'arche dans des proportions convenables.

Comme nous l'avons vu, la plupart des ingénieurs repoussent le plein cintre, avec l'appareil hélicoïdal, dans les grandes obliquités. On peut facilement, en employant l'arc de cercle, élever à 75 degrés le minimum de l'angle des lits avec les plans de tête, et alors des tirants ne semblent nullement nécessaires.

Les ingénieurs anglais admettent à peu près la même limite pour l'obliquité des lits dans l'appareil droit et dans l'appareil hélicoïdal. Comme d'ailleurs il y a excès de prudence pour le

1. Bruz est la première station du chemin de fer de Rennes à Redon.

Le pont oblique a 11 mètres d'ouverture droite, et $6^m,40$ de largeur entre les têtes.

premier, on pourrait penser qu'il en est ainsi pour le second; mais je crois que, dans l'état actuel de l'art, cette opinion serait d'une grande témérité. Eu égard aux difficultés de la taille et de la pose, on obtiendra rarement une aussi bonne exécution pour les maçonneries dans une arche hélicoïdale que dans un pont avec assises droites.

LEFORT. — Études relatives à la construction des ponts biais. (*Annales des ponts et chaussées*, 1839, 1er semestre.) — Sur la théorie de la construction des voûtes biaises cylindriques. (*Annales des ponts et chaussées*, 1854, 2e semestre.)

Le premier de ces Mémoires est le plus ancien écrit publié en France sur les nouveaux appareils des arches biaises : il a exercé et il exerce encore une grande influence. Le second contient une critique des principes qui servent de base à mes études de 1851 et de 1853, et des conclusions auxquelles je suis parvenu.

A. M. Lefort présente tout d'abord un calcul sur la réduction de longueur que les sections de l'intrados par des plans verticaux éprouvent dans le tassement de la voûte, et arrive à conclure que la plus grande contraction moléculaire se fait dans le plan vertical dont la section avec la partie de la douelle, située au-dessus des joints de rupture, est la plus courte.

Ce résultat ne peut être déduit de considérations géométriques qu'à l'aide d'hypothèses sous-entendues, et par suite on ne doit le considérer que comme hypothèse.

Il me semble qu'un certain état moléculaire est compatible avec l'existence de pressions dirigées parallèlement aux têtes, et je ne vois pas, *à priori*, pourquoi la contraction n'amènerait pas cet état. Je comprends encore bien moins comment des raisonnements de pure géométrie pourraient jeter quelque lumière sur cette question.

B. D'après l'hypothèse de M. Lefort, lorsque la section droite peut être tracée en entier sur l'intrados, la contraction donne naissance à des orces d'une direction perpendiculaire à celle des culées, et qui tendent à rejeter les voussoirs en dehors de la voûte. Il existerait ainsi pour les arches biaises une poussée au vide indépendante de l'appareil employé.

Nous avons vu (art. 10 et 13) que, suivant que l'on suppose les pressions parallèles aux têtes ou aux plans des sections droites, on est conduit à l'appareil orthogonal ou à celui des ponts droits. M. Lefort admet que le plus grand effort se fait dans le plan de la section droite lorsque cette courbe peut être tracée entièrement sur l'intrados au-dessus des joints de rupture, et cependant il conclut à l'appareil orthogonal. Je vais examiner comment il parvient à ce résultat.

C. L'auteur propose de diviser la voûte, lors de sa construction, en zones indépendantes, par des plans parallèles aux *têtes*, pour diminuer l'angle que le plan vertical de la plus courte section forme avec les plans de tête ; il montre qu'en supposant *les* zones infiniment minces, et par suite, conformément à son hypothèse, les pressions parallèles aux têtes, les lois de l'équilibre conduisent à l'appareil orthogonal, puis il dit : « cette solution rigoureuse à la limite est évidemment celle qui *con*vient le mieux, encore que les zones aient une épaisseur finie » (p. 292).

Ainsi, l'auteur déduit l'appareil orthogonal du parallélisme des pressions aux plans de tête obtenu artificiellement.

D. Cette théorie et par suite l'hypothèse fondamentale *seront* rejetées par l'expérience s'il est reconnu que les zones ne sont pas nécessaires ; car alors les pressions restant dans les plans des sections droites, on ne pourrait assurer l'équilibre avec des lits normaux aux plans de tête (art. 10).

Il faut remarquer, d'ailleurs, que si les zones étaient indispensables avec l'appareil orthogonal, elles le seraient également avec l'appareil hélicoïdal qui n'est qu'une modification du premier.

En fait, les zones d'abord adoptées en France ont été peu à peu abandonnées. Je ne les ai vu indiquer dans aucun des ouvrages anglais que j'ai lus, bien que plusieurs d'entre eux donnent des détails minutieux sur l'exécution des maçonneries. Il est hors de doute que les ponts de grand biais construits par MM. Chapman, Storey, Buck, ont été élevés sans zones.

Je conclus que l'hypothèse de M. Lefort est contredite par l'expérience.

E. Dans mes travaux de 1851 et 1853, j'ai établi tous les raisonnements sur l'hypothèse du parallélisme des pressions aux plans de tête, et sur la nécessité d'éviter le plus possible la poussée au vide qui résulte de l'obliquité des lits sur ces plans.

M. Lefort a publié, en 1854, une Note pour critiquer ces études. Je n'ai pas répliqué. J'ai cru que le mieux était de laisser l'expérience prononcer d'une manière définitive sur le système des zones et l'hypothèse dont il est la conséquence. M. Adhémar, que je n'avais pas l'avantage de connaître, a répondu aux principaux arguments dirigés contre moi (*Traité des ponts biais*, p. 257 et suiv.).

La Note que M. Lefort a fait paraître en 1854, celle que j'ai publiée en 1853 et l'article de M. Adhémar, n'ont ensemble que dix-huit pages. On n'y trouve ni calculs, ni figures. Leur lecture n'exige que peu d'instants.

F. Quand les têtes ne sont pas parallèles, M. Lefort prend pour lignes d'assise des trajectoires orthogonales aux sections de l'intrados par des plans contenant la droite d'intersection des plans de tête, ce qui revient à supposer que les pressions s'exercent dans des plans convergents. Il donne toutes les formules nécessaires pour le tracé des lignes d'assise.

L'appareil que je viens d'indiquer, et que M. Lefort appelle *orthogonal convergent*, peut être appliqué aux parties voisines des têtes dans les longues arches obliques. Il permet d'appareiller droit la partie centrale d'une voûte sans briser les lits. L'auteur pense que la plus petite génératrice de la partie biaise ne doit pas être moindre que le rayon de la section droite.

G. Une Note (p. 281) nous apprend que l'appareil orthogonal parallèle a été employé pour la première fois sous la direction de MM. Clapeyron, Mony et Lamé, pour des ponts du chemin de fer de Paris à Saint-Germain.

M. Lefort a donné les formules qui concernent cet appareil; il a d'ailleurs imaginé et appliqué l'appareil orthogonal convergent; son nom doit par suite occuper une place importante dans l'histoire de l'arche biaise.

LEJEUNE. — Traité pratique de la Coupe des pierres, Paris.

L'ouvrage de M. Lejeune s'adresse surtout aux appareilleurs; il est très-récent : je n'en ai eu connaissance que pendant la correction des épreuves de ce travail.

L'auteur paraît penser que, dans les ponts biais, l'appareil influe sur la direction des pressions (p. 537). Les tracés qu'il expose sont ceux de M. Buck avec quelques modifications généralement adoptées.

L'ÉVEILLÉ. — Notes sur les voûtes biaises. Le Mans, 1856. (Extrait du *Bulletin de la Société d'agriculture, sciences et arts de la Sarthe.*)

M. L'Éveillé étudie les pressions par des considérations de pure théorie, et en discutant des résultats d'expérience. Il conclut en disant:

« Ainsi, quel que soit l'appareil d'un pont biais, l'on peut dire que, si les maçonneries ont assez de résistance et sont assez pleines pour que, sous le mouvement de torsion que les poussées parallèles à la section droite tendent à produire, il n'y ait aucun écrasement ni aucun mouvement possible, il se développera nécessairement, dans l'intérieur des maçonneries, des forces qui ramèneront l'action ou poussée définitive à être, tout entière, comprise dans l'intérieur de la voûte et à y rencontrer les culées assez loin de leurs arêtes pour qu'il n'y ait ni écrasement, ni même altération d'élasticité. » (P. 12).

On lit plus loin : « La poussée que nous avons vue être dans un plan à peu près parallèle aux têtes..... » (P. 17).

Ainsi, M. L'Éveillé admet que les pressions définitives sont à peu près parallèles aux têtes.

A la page 18, l'auteur décrit un appareil mixte dans lequel les assises inférieures sont horizontales, et celles de la partie supérieure de la voûte hélicoïdales.

Cette disposition me paraît très-heureuse; car, dans un appareil droit, les lits des assises voisines des naissances sont peu inclinés sur les plans de tête quel que soit l'angle du biais. On peut, par suite, employer sans inconvénient des assises droites près de l'imposte, et réduire la partie hélicoïdale à ne former

qu'une voûte surbaissée, disposition que l'on sait être avantageuse à la stabilité.

Le pont de Gournay, que M. L'Éveillé a construit dans ce système, est en plein cintre et oblique à 50 degrés. Les assises droites s'élèvent jusqu'à une hauteur angulaire de 33 degrés. Il est facile de calculer que le plus petit angle, formé par les lits de ces assises avec les plans de tête, est de 69° 30'. Cette obliquité peut être parfaitement admise, comme le résultat l'a prouvé.

La partie hélicoïdale de la voûte se trouve établie dans d'excellentes conditions.

En résumé, je crois que la modification introduite par M. L'Éveillé améliore d'une manière notable l'appareil des arches en plein cintre; il est, d'ailleurs, évident qu'elle diminue la dépense.

On peut consulter sur l'appareil mixte M. Graeff (*Annales*, 1854, 1er semestre, p. 38); M. Le Blanc (*Mémoire*, p. 18); Praly (*Études*, p. 119).

Lucas. — Mémoire sur un nouvel appareil de construction pour les voûtes biaises. (*Annales des ponts et chaussées*, 1861, 1er semestre.)

M. Félix Lucas trouve que, pour les grands biais, la normalité des lits sur les plans parallèles aux têtes est tellement importante, qu'il lui sacrifie la normalité exacte sur l'intrados. Il a proposé un appareil très-ingénieux dans lequel les lignes d'assise sont des hélices, mais qu'on ne peut cependant rattacher à l'appareil hélicoïdal ordinaire, parce qu'il en diffère dans ses dispositions les plus essentielles. Chaque lit appartient à une surface de vis à filets carrés qui a pour axe la génératrice inférieure du cylindre d'intrados, et qui rencontre la partie supérieure de ce cylindre sous un angle assez voisin d'un angle droit. Son plan tangent, en tout point de la ligne d'assise, est rigoureusement perpendiculaire au plan de tête.

Monge. — Géométrie descriptive, Paris, an VII.

Monge n'a rien écrit sur les arches biaises, mais il a présenté sur le problème général de la stéréotomie des considérations

géométriques d'un grand intérêt. Bien que son article ait été souvent reproduit, je crois utile de le mettre tout entier sous les yeux du lecteur (p. 124).

« Les voûtes construites en pierres de taille sont composées de pièces distinctes auxquelles on donne le nom générique de *voussoirs*. Chaque voussoir a plusieurs faces qui exigent la plus grande attention dans l'exécution : 1° la face qui doit faire parement, et qui, devant être une partie de la surface visible de la voûte, doit être exécutée avec la plus grande précision ; cette face se nomme *douelle ;* 2° Les faces par lesquelles les voussoirs consécutifs s'appliquent les uns contre les autres, on les nomme généralement *joints*. Les joints exigent aussi la plus grande exactitude dans leur exécution; car la pression se transmettant d'un voussoir à l'autre perpendiculairement à la surface du joint, il est nécessaire que les deux pierres se touchent par le plus grand nombre possible de points, afin que, pour chaque point de contact, la pression soit la moindre, et que pour tous elle approche le plus de l'égalité. Il faut donc que dans chaque voussoir les joints approchent le plus de la véritable surface dont ils doivent faire partie; et pour que cet objet soit plus facile à remplir, il faut que la surface des joints soit de la nature la plus simple et de l'exécution la plus susceptible de précision. C'est pour cela que l'on fait ordinairement les joints plans, mais les surfaces de toutes les voûtes ne comportent pas cette disposition, et dans quelques-unes on blesserait trop les convenances dont nous parlerons dans un moment, si l'on ne donnait pas aux joints une surface courbe. Dans ce cas, il faut choisir parmi toutes les surfaces courbes, qui pourraient d'ailleurs satisfaire aux autres conditions, celles dont la génération est la plus simple et dont l'exécution est plus susceptible d'exactitude. Or, de toutes les surfaces courbes, celles qu'il est plus facile d'exécuter sont celles qui sont engendrées par le mouvement d'une ligne droite, et surtout les surfaces développables : ainsi, lorsqu'il est nécessaire que les joints des voussoirs soient des surfaces courbes, on les compose, autant qu'il est possible, de surfaces développables.

« Une des principales conditions auxquelles la forme des joints des voussoirs doit satisfaire, c'est d'être partout perpendiculaires à la surface de la voûte que ces voussoirs composent. Car, si les

deux angles qu'un même joint fait avec la surface de la voûte étaient sensiblement inégaux, celui de ces angles qui excéderait l'angle droit serait capable d'une plus grande résistance que l'autre; et dans l'action que deux voussoirs consécutifs exercent l'un sur l'autre, l'angle plus petit que l'angle droit serait exposé à éclater, ce qui, au moins, déformerait la voûte, et pourrait même altérer sa solidité et diminuer la durée de l'édifice. Lors donc que la surface d'un joint doit être courbe, il convient de l'engendrer par une droite qui soit partout perpendiculaire à la surface de la voûte; et si l'on veut de plus que la surface du joint soit développable, il faut que toutes les normales à la surface de la voûte, et qui composent, pour ainsi dire, le joint, soient consécutivement deux à deux dans un même plan. Or, nous venons de voir que cette condition ne peut être remplie, à moins que toutes les normales ne passent par une même ligne de courbure de la surface de la voûte: donc, si les surfaces des joints des voussoirs d'une voûte doivent être développables, il faut nécessairement que ces surfaces rencontrent celle de la voûte dans ses lignes de courbure.

« D'ailleurs, avec quelque précision que les voussoirs d'une voûte soient exécutés, leur division est toujours apparente sur la surface; elle y trace des lignes très-sensibles, et ces lignes doivent être soumises à des lois générales, et satisfaire à des convenances particulières, selon la nature de la surface de la voûte. Parmi les lois générales, les unes sont relatives à la stabilité, les autres à la durée de l'édifice; de ce nombre est la règle qui prescrit que les joints d'un même voussoir soient rectangulaires entre eux, par la même raison qu'ils doivent être eux-mêmes perpendiculaires à la surface de la voûte. Aussi les lignes de division des voussoirs doivent être telles, que celles qui divisent la voûte en assises soient toutes perpendiculaires à celles qui divisent une même assise en voussoirs. Quant aux convenances particulières, il y en a de plusieurs sortes, et notre objet n'est pas ici d'en faire l'énumération; mais il y en a une principale, c'est que les lignes de division des voussoirs qui, comme nous venons de le voir, sont de deux espèces, et qui doi-se rencontrer toutes perpendiculairement, doivent aussi porter le caractère de la surface à laquelle elles appartiennent. Or, il n'existe pas de ligne sur la surface courbe qui puisse remplir en

même temps toutes ces conditions, que les deux suites de lignes de courbures, et elles les remplissent complétement. Ainsi, la division d'une voûte en voussoirs doit donc toujours être faite par les lignes de courbure de la surface de la voûte, et les joints doivent être des portions de surfaces développables formées par la suite des normales à la surface qui, considérées consécutivement, sont deux à deux dans un même plan ; en sorte que, pour chaque voussoir, les surfaces des quatre joints et celle de la voûte soient toutes rectangulaires.

« Avant la découverte des considérations géométriques sur lesquelles tout ce que nous venons de dire est fondé, les artistes avaient un sentiment confus des lois auxquels elles conduisent, et, dans tous les cas, ils avaient coutume de s'y conformer. Ainsi, par exemple, lorsque la surface de la voûte était de révolution, soit qu'elle fût en sphéroïde, soit qu'elle fût en berceau tournant, ils divisaient ses voussoirs par des méridiens et par des parallèles, c'est-à-dire, par les lignes de courbure de la surface de la voûte.

« Les joints qui correspondaient aux méridiens étaient des plans menés par l'axe de révolution; ceux qui correspondaient aux parallèles étaient des surfaces coniques de révolution autour du même axe; et ces deux espèces de joints étaient rectangulaires entre eux et perpendiculaires à la surface de la voûte. Mais, lorsque les surfaces des voûtes n'avaient pas une génération aussi simple, et quand leurs lignes de courbure ne se présentaient pas d'une manière aussi marquée, comme dans les voûtes en spéroïdes allongés, et dans un grand nombre d'autres, les artistes ne pouvaient plus satisfaire à toutes les convenances, et ils sacrifiaient, dans chaque cas particulier, celles qui leur présentaient les difficultés les plus grandes. »

Si je me bornais à cette citation, je ferais mal connaître l'opinion de Monge. On lit dans l'avertissement qui est en tête du livre : « Déjà il (Monge) avait fait graver les dessins qui servent maintenant de modèles aux élèves de l'École polytechnique pour l'étude de la coupe des pierres, de la charpente..... »

Il est donc bien établi que les épures de l'ancienne collection de l'École polytechnique ont été gravées sous la direction de Monge. J'ajouterai que l'enseignement auquel elles servaient de base était fait sous ses yeux. Vingt dessins sont consacrés à la

coupe des pierres : quatorze d'entre eux représentent des appareils dans lesquels les lignes d'assise ne sont pas toutes des lignes de courbure de l'intrados [1].

Il y a donc une contradiction dans Monge, si l'on s'attache au sens absolu de quelques-unes de ses phrases. Cela est connu depuis longtemps.

La règle énoncée par ce géomètre a été accueillie, en France, avec une grande faveur, mais l'opinion s'est progressivement modifiée.

M. Dupin a fait une réserve pour les escaliers, dont la voûte est une surface gauche, ainsi que pour les parties des édifices où plusieurs voûtes se croisent et se pénètrent. (*Essai historique sur les services et les travaux scientifiques de Gaspard Monge*, Paris, 1819, p. 245.) Ces deux exceptions comprennent un nombre considérable de voûtes.

Vallée a indiqué deux autres exceptions moins importantes. (*Spécimen de coupe des pierres*, partie publiée en 1827, art. 383, 384.)

Hachette a fait remarquer que les artistes n'appareillent les voûtes, suivant les lignes de courbure de l'intrados, que dans « les cas faciles des surfaces cylindriques, des surfaces coniques et de celles de révolution. » (*Traité de géométrie descriptive*, Paris, 1822, p. 289.)

M. Lefort a rejeté les lignes de courbure pour l'appareil des arches biaises, en disant que l'analyse de Monge « fait presque complétement abstraction de l'élément mécanique qui domine la question. » (*Mémoire de* 1839, p. 290.)

Quelques années après la publication de M. Lefort, le 11 mai 1846, Arago a lu à l'Académie des sciences, une notice sur Monge. L'illustre secrétaire perpétuel de l'Académie parle des services rendus par Monge à la coupe des pierres, et s'étend sur la découverte des lignes de courbure ; mais il ne dit pas que ces courbes aient un emploi dans la stéréotomie (*Œuvres complètes*, t. 11, p. 439, 445). Ce silence me paraît significatif.

L'opinion que l'appareil d'une voûte doit être réglé d'après la

1. Le nombre des épures a été successivement réduit ; il était en dernier lieu de douze, sur lesquelles on en compte huit où les lignes d'assise ne sont pas toutes des lignes de courbure. Dans le biais passé, les divers escaliers, etc. ; pas une des lignes d'appareil n'est une ligne de courbure.

nature de la surface d'intrados, et sans qu'on ait à s'occuper de la position des points d'appui ni des charges extérieures, paraît inacceptable. La division en voussoirs, par les lignes de courbure, ne peut même pas être admise d'une manière absolue quand on se place à un point de vue purement géométrique. Les architectes donnent, en effet, à certaines voûtes, des intrados réglés pour la facilité de la construction, afin d'avoir des droites pour lignes d'assise; or, dans le cas général, toutes les lignes de courbure d'une surface réglée sont courbes.

Quand on se rend compte des appareils admis en architecture, on reconnaît que, dans la grande variété des voûtes, il n'y en a qu'un petit nombre pour lesquelles les lignes d'assise soient des lignes de courbure de l'intrados, et que cela résulte des conditions mêmes de l'équilibre et de diverses convenances, mais nullement de l'ignorance des appareilleurs.

J'ai déjà eu l'occasion d'exprimer une opinion sur ce sujet, mais je l'ai fait en peu de mots. (*Discours sur l'art du trait*, Paris, 1854, p. 28.) La règle des lignes de courbure n'ayant plus, pour ainsi dire, qu'un intérêt historique, il me paraissait convenable, sous tous les rapports, de ne pas la discuter longuement.

MONTLUISANT. — Épure du pont de Trilport. (*Collection lithographique de l'École des ponts et chaussées*, 1820.)

En parlant du grand pont de Trilport, construit par Chézy, sur la Marne, avec un biais de 72 degrés, Montluisant dit : « les voûtes poussent presque entièrement au vide et ne se soutiennent que par l'appareil, ainsi que cela a lieu dans un encorbellement. »

Cette assimilation à un encorbellement que j'ai remarquée il y a déjà longtemps me paraît parfaitement juste, dans l'hypothèse que les pressions seraient parallèles aux plans des sections droites. Plus loin, Montluisant semble adopter l'opinion que les pressions sont parallèles aux têtes, car il présente l'appareil à joints brisés de Gauthey et le biais passé à plusieurs zones, comme propres à détruire la poussée au vide.

MORANDIÈRE. — Note pour le tracé des voûtes biaises sur les cintres. (*Annales des ponts et chaussées*, 1855, 1er semestre.)

Le titre de cette Note en fait complétement connaître l'objet. M. Morandière a toujours employé l'appareil hélicoïdal.

Müller. — Die Brückenbaukunde in ihrem ganzen umfange. Leipzig (sans date).

Indications sommaires sur l'appareil hélicoïdal (p. 143). Voir l'article consacré à M. Heider.

Nicholson. — A popular and practical Treatise on masonry and stone cutting, London, 1828. — The Guide to railway masonry containing a complete Treatise on the oblique arch, revised by Cowen. Third edition, London and Carlisle, 1847.

A. Dans le premier ouvrage, l'auteur expose d'abord l'appareil droit; il s'occupe ensuite du biais passé et propose, pour diminuer l'inclinaison des lits sur l'intrados, de former chacun d'eux de deux plans perpendiculaires aux plans de tête et normaux à la douelle, l'un dans la partie voisine de la première tête, l'autre près de la seconde.

Nicholson donne les tracés nécessaires à l'établissement d'une arche hélicoïdale, avec leur application à un pont d'une obliquité de 50 degrés (p. 53 et suiv.). Son traité est le plus ancien document certain que je connaisse sur l'appareil hélicoïdal qui, du reste, n'y est pas présenté comme nouveau.

B. La première édition du second ouvrage (Complete Treatise) a été publiée en 1836; je n'ai pu me procurer que la troisième. Je le regrette, parce qu'on lit dans la préface que des détails historiques, donnés par les premières éditions, ont été supprimés. Je pense que les divers renseignements qui s'y trouvaient ont été reproduits dans d'autres ouvrages.

Nicholson ne prétend pas être l'inventeur de l'appareil de l'arche oblique, mais il réclame les procédés qui ont été exclusivement employés, pendant plusieurs années, pour l'application du trait sur la pierre (préface, p. 10).

C. Je crois utile de reproduire textuellement une partie des

considérations que présente l'auteur, dans le *Popular Treatise*, avant d'exposer l'appareil hélicoïdal :

« In order that every arch may be the strongest possible, a straight line passing through any point of the surface of a joint perpendiculary to the intrados, ought to have all its intermediate points between the point through which it passes, and the intrados, in the surface of the side of the coursing joint; and in order that the stones may be reduced to their form in the easiest manner possible, the surfaces should be uniform; and the forms of the stones should be similar solids, and the solids similarly situated.

« To obtain these desirable objects will not be possible where the faces of the arch are plane surfaces; however, even in this case, the joints may be so formed by uniform helical surfaces, that they will intersect the intrados perpendicularly in every point, and the faces of the arch perpendicularly in two points of the curve.

« This mode of executing a bridge renders the construction much stronger that when the joints of it are parallele to the horizon. Since in this last case, the angles of the beds and the faces are so acute upon on side, that the points of the ring-stones are very liable to be broken, or even to be fractured in large masses.

« For, though the gravitating force acts perpendicularly to the horizon; yet, notwithstanding, when one body presses upon the surface of another, the faces act upon each other in straight lines perpendicularly to their surfaces. Hence a right-angled solid will resist equally upon all points of its surface.

« From this consideration, we are induced to give a preference to the construction with spiral joints, though attended with greater difficulty in the execution. » (P. 52, 53.)

Les mêmes idées théoriques sont développées dans le second ouvrage. On lit, en effet, à la page 42 :

« As every oblique joint causes the dihedral angles made by the face and that joint to be very unequal, the obtuse dihedral angle will be much stronger than that which is acute, these angles being supplements of each other. Therefort oblique arches with plane joints should never be used where great strength is necessary; and where the angle of obliquity is very

acute, the oblique arch with spiral joints should only be employed, as the spiral joints are as nearly perpendicular to the face as the construction will admit of. »

Cette doctrine paraît toute semblable à celle que Monge a développée dans le passage où il conclut que les lignes d'assise doivent être des lignes de courbure : il faut que les surfaces des joints soient d'une exécution facile et que la voûte soit composée de voussoirs ayant des angles droits « right-angled solids. »

Nicholson, du reste, ne se sert, pas plus que Monge, de ces principes pour fabriquer un appareil et dire : il est bon, car les angles des pierres sont droits. Il se borne à comparer deux appareils consacrés par l'expérience, au moins entre de certaines limites, et à donner la préférence à celui dans lequel les voussoirs ont des angles droits.

D. Dans son ouvrage de 1828, l'auteur prend pour lignes de joint, sur les têtes, des droites normales à l'ellipse intradossale, et, par suite, les lits rencontrent obliquement la douelle (p. 59 et 60). Je crois que cette disposition provenait d'un simple manque d'attention, car personne ne s'est exprimé d'une manière aussi positive que Nicholson sur la nécessité d'avoir des lits normaux à l'intrados, et les règles qu'il donne à la page 55, pour la pose des biveaux sur la pierre, sont conformes à ce principe.

Quoi qu'il en soit, Buck ayant signalé la règle suivie par notre auteur pour les lignes de joint sur les têtes, on a souvent appelé *lits de Nicholson* des surfaces gauches dont chaque génératrice est normale à la section de l'intrados par un plan parallèle aux têtes et située dans ce plan.

Cette désignation ne doit pas être conservée ; car, dans son second ouvrage, Nicholson donne des tracés qui déterminent des lits normaux à la douelle, et par suite des lignes de joint obliques aux courbes de tête (p. 21).

NORDLING. — Note sur les ponts biais et les ponts courbes. (*Annales des ponts et chaussées*, 1869, 1er semestre.)

L'auteur donne des détails intéressants sur diverses manières de faire servir un pont droit pour un passage oblique, en enga-

geant les têtes dans les talus du remblai, lorsqu'ils ont un développement suffisant.

On lit à la page 435 : « Pour les obliquités ne descendant pas au-dessous de 80 degrés, nous nous sommes contentés de l'appareil ordinaire; pour les obliquités plus fortes, nous avons toujours fait usage de l'appareil hélicoïdal, en remplaçant toutefois les pleins cintres par des arcs de cercle surbaissés. »

Ormières. — Essai pratique sur la construction des ponts obliques à appareil hélicoïdal. Bordeaux, 1857.

M. Ormières présente tous les détails d'un pont hélicoïdal établi d'après les principes de M. Buck.

Partiot. — Note sur le pont biais construit sur la Vezère aux Eyzies. (*Annales des ponts et chaussées*, 1864, 1er semestre.)

Le pont des Eyzies comprend une maçonnerie de briques avec six chaînes en pierres de taille, formant des arceaux parallèles aux têtes et appareillés en biais passé.

Un arceau est placé sous chaque cours de rails, et un à chaque tête.

Ce système est dû à MM. Krantz et Duval.

Perronet. — Ses Œuvres. Nouvelle édition, Paris, 1788. Description de l'arche biaise construite sur le ruisseau Bicheret (p. 190). Voir aussi le supplément à l'édition in-folio, p. 3.

« On est souvent embarrassé pour construire solidement une arche dont le biais est un peu considérable sur la direction de la voûte, parce que les voussoirs du cintre primitif étant prolongés, suivant l'usage, jusqu'aux têtes, ils y forment d'un côté un angle trop aigu qui est sujet à se casser, et aussi parce qu'une partie des voussoirs des têtes, et quelquefois même leur totalité suivant le biais de l'arche, porte leur poussée au vide ; ce qui exigerait, pour y remédier, de donner à une partie de ces voussoirs des longueurs de douelle que ne pourraient pas fournir les carrières. »

C'est la théorie des pressions dirigées dans les plans des sections droites avec ses conséquences logiques.

Dans l'appareil adopté par Perronet, l'intrados se recourbe deux fois près de chaque tête, de manière à présenter deux arêtes : la dernière surface est normale au plan de tête. Le pied-droit du côté de l'angle aigu de la culée n'est pas dévié; l'autre pied-droit présente un petit évasement à la tête même de l'arche. L'intrados complet entre les deux têtes offre une succession de cinq surfaces cylindriques. Les dispositions de détail sont parfaitement entendues.

Le ponceau a une obliquité de 45 degrés. Son ouverture droite est de neuf pieds.

Un pont du même appareil existe à Nantes au passage de l'avenue de l'Entrepôt, sur la petite rivière de Chézine.

Praly. — Études sur la construction des voûtes biaises. Nouvelle édition, Paris, 1868.

Cet ouvrage contient avec diverses modifications la matière d'un Mémoire publié en 1852 dans le journal *l'Ingénieur*.

A. L'auteur pense que les arches biaises sont soumises à une poussée au vide indépendante de l'appareil. Il présente quelques considérations à ce sujet, à la page 6. Les passages suivants sont à la page 113.

« Les effets de la poussée au vide ont été observés par tous les constructeurs qui se sont occupés de l'exécution d'une arche biaise d'un biais assez prononcé.....

« En dehors des observations que fournit la pratique, il n'est pas contesté et il ne parait pas contestable que l'effet de l'ensemble des forces développées par la contraction de la voûte, au moment du décintrement, se produise suivant les lignes de plus petite courbure, c'est-à-dire dans la section de moindre diamètre que l'on pût tracer sur la douelle de la voûte. Or, pour nier la poussée au vide, il faudrait faire complétement abstraction de ce mouvement et de la direction de son maximum d'effet. »

La doctrine que l'auteur présente comme n'étant pas contes-

tée était formellement contredite par M. Le Blanc, aux articles 23, 24 et 41 de son Mémoire.

B. L'auteur expose, à la page 7, sa théorie de l'appareil.

« ..... Par le choix de tel ou tel appareil, on peut laisser une construction exposée à toutes les conséquences qu'entraîne la poussée au vide, ou atténuer l'effet de cette poussée au point de le rendre à peu près nul.

« On obtiendra ce dernier résultat en ramenant dans une direction parallèle aux plans de têtes l'effort qui tend au renversement, parce qu'alors cette force sera contre-butée des deux côtés de la voûte par les pieds-droits, qui lui opposeront, suivant leur épaisseur oblique, leur plus grande somme de résistance.

« Il est indispensable, toutefois, de concilier l'exigence de cette condition essentielle avec le principe général de stabilité, non moins rigoureux, qui consiste à diriger les surfaces de joints des divers cours continus de voussoirs normalement à la résultante des pressions qu'ils doivent supporter.

« C'est donc là l'objet que doit se proposer de remplir le constructeur dans l'étude et dans le choix de l'appareil à employer. »

C. M. Praly établit, comme il suit, les conditions géométriques auxquelles l'appareil doit satisfaire (p. 130).

« Il faut en effet rechercher, dans un bon appareil, qu'il satisfasse autant que possible aux trois conditions suivantes, ou qu'il les concilie dans une certaine mesure en évitant conséquemment de les sacrifier l'une à l'autre, savoir :

Lits de joints normaux aux plans de têtes ;

Lits de joints normaux à la douelle ;

Angles des voussoirs, c'est-à-dire angles des panneaux de tête et de douelle aussi droits que possible. »

Il semble, d'après ce passage, que M. Praly n'attribue d'importance, pour les lignes d'assise, qu'à leur incidence sur les têtes, et nullement à leur forme. Du reste, je ne saisis pas bien comment les conditions auxquelles il parvient résultent de la théo-

rie de l'appareil exposé à la page 7, et de la doctrine des poussées, qu'on trouve aux pages 6 et 113,

D. On lit à la page 96 : « Dans cette sorte de voûte (hélicoïdale en plein cintre), les effets du tassement et de la poussée au vide sont peu à redouter, quel que soit, d'ailleurs, l'angle du biais. L'exactitude de cette assertion peut n'être pas absolue au point de vue théorique, comme nous le verrons par la suite, mais elle se trouve confirmée en pratique par les nombreuses observations de divers constructeurs. »

La même opinion se trouve reproduite en plusieurs passages (p. 103..., 108). A la page 102, M. Praly me reproche d'avoir présenté une théorie d'où l'on peut déduire qu'il serait avantageux de substituer l'arc de cercle au plein cintre pour augmenter la stabilité d'une voûte biaise.

Je crois utile de rapporter sur cette question l'opinion de quelques-uns des ingénieurs qui sont considérés comme les plus expérimentés.

On lit dans M. Hart: « ..... Thus proving the necessity of adopting a segment, either of a circle or an ellipsis, where the obliquity of the arch is very great. » (2e édit., p. 23.)

Buck n'est pas moins positif : « It should be remembered, that if that part of the semicircle which falls below v is omitted in the construction of an arch, as it ought to be..... » (1re édit., p. 41, 2e édit., p. 47.)

M. Donaldson repousse d'une manière absolue le plein cintre, pour les arches biaises : « An oblique arch ought always to be segmental. » (p. 7, voir aussi p. 23).

Il importe de remarquer que toutes les observations présentées par ces ingénieurs sont relatives à l'appareil hélicoïdal.

M. Graeff, l'un des ingénieurs français qui ont construit le plus de ponts obliques, déclare que l'appareil hélicoïdal est « impraticable » pour le plein cintre dans les arches très-biaises (*Mémoire* de 1854, p. 38). On voit que l'opinion de M. Graeff n'est pas douteuse. Les observations qu'il a présentées, dans son second travail, sur les avantages et les inconvénients du plein cintre avec les divers appareils et pour différentes obliquités, ont complétement dissipé l'incertitude que l'on avait pu avoir sur sa pensée après la lecture de son Mémoire de 1852.

Je crois que M. Praly est le seul auteur qui donne la préférence au plein cintre sur l'arc de cercle (ou d'ellipse) surbaissé, dans l'appareil hélicoïdal, au point de vue de la stabilité.

E. M. Praly adopte un appareil hélicoïdal elliptique dans lequel les courbes de joint sur les têtes sont normales à la courbe d'intrados, et les lits obliques sur la douelle.

La préférence donnée par l'auteur à la forme elliptique pour la section droite tient surtout à la diminution qui résulte, pour l'angle intradossal, du plus grand développement de la douelle (p. 152).

SIMON. — Pont biais sur l'Orb. (*Annales des ponts et chaussées*, 1854, 2e semestre. Chronique.)

L'appareil employé est hélicoïdal.

STOREY. — Description of an oblique Bridge over the River Gaunless, on the Hagger Leases Branch Railway, Durham. (*Minutes of proceedings*, 14 january 1845.)

Cet article est très-court. On y trouve seulement quelques dimensions d'un pont d'une grande obliquité construit, en 1830, par M. Storey sur un embranchement du chemin de fer de Stockton à Darlington. M. Nicholson donne les dessins généraux de cet ouvrage dans son *Guide to Railway masonry* (p. 35).

Le biais est de 27 degrés. On déduit même un angle un peu plus petit des longueurs de 19 pieds et de 42 pieds données pour l'ouverture droite et l'ouverture oblique. — La distance droite entre les plans de tête est de 14 pieds.

Les tracés suivis pour l'appareil sont ceux que Nicholson a exposés en 1828.

A la suite de la communication faite par M. Storey à la Société des Ingénieurs civils, M. G. Rennie a donné quelques détails historiques sur les ponts obliques. Je ne les reproduis pas, parce qu'ils n'apprendraient rien au lecteur.

WHEWELL. — The Mechanics of Engineering, Cambridge, 1841.

L'auteur consacre deux paragraphes à l'équilibre des arches obliques (p. 72 et 105).

La doctrine que la direction des pressions se règle d'après l'appareil paraît avoir été adoptée par M. Whewell. Il dit que dans les ponts obliques, appareillés droit, la pression sur les lits est perpendiculaire à l'axe de l'intrados (p. 73, 74) ; il trouve ensuite qu'en rendant les lits perpendiculaires sur les plans parallèles aux têtes, les voussoirs doivent être en équilibre, même en supposant le frottement nul (p. 75).

L'auteur donne les équations et les principales propriétés des trajectoires orthogonales.

25. L'analyse qui précède justifie, je crois, l'assertion contenue à l'article 14, que les ingénieurs, malgré la diversité de leurs idées théoriques, ont tous cherché à satisfaire aux mêmes conditions.

Aucun des auteurs que j'ai cités ne conteste la supériorité de l'appareil orthogonal au point de vue de l'équilibre. Plusieurs affirment cette supériorité. D'autres bornent leurs études à l'appareil hélicoïdal, mais les inconvénients qu'ils lui signalent, pour la solidité de l'arche, résultent précisément des dispositions dans lesquelles il s'éloigne de l'appareil orthogonal.

Le nom que les ingénieurs anglais donnent à cet appareil (équilibrated courses) contient une théorie.

L'appareil orthogonal étant accepté comme le type de la stabilité, il faut nécessairement admettre le principe de construction de Chapman, et le parallélisme des pressions aux plans de tête comme loi approximative.

26. Si l'accord doit être considéré comme complet sur les points essentiels, il n'en est pas ainsi pour plusieurs questions qui, bien que secondaires, présentent cependant un véritable intérêt. Ainsi la génération des surfaces des joints discontinus, les voussures ou chanfreins, l'agencement des voussoirs de tête près des naissances, les procédés de taille, l'appareil des rampants et celui des avant-becs, l'établissement des cintres, présentent des difficultés qui ont été résolues de manières très-diverses.

J'ai fait remarquer, dans l'article consacré à M. Graeff, que de nouvelles investigations, sur la surface gauche des lits, ne seraient pas sans utilité.

On s'est à peine occupé des arches biaises courbes ou en descente, et de celles dont les têtes ont du fruit.

Ces différentes questions ne rentraient pas dans mon cadre, et, d'ailleurs, je crois que le moment de les étudier d'une manière approfondie n'est pas arrivé.

Les ingénieurs sont fatigués des débats que le problème des biais a soulevés ; on doit reconnaître que ces débats n'ont offert que peu d'intérêt, parce que les auteurs partent de principes différents, et que, par suite, leurs raisonnements se croisent très-souvent sans se répondre.

Des études sur les points secondaires ne pourront être utilement présentées à la discussion, que quand on sera parvenu à se mettre d'accord sur les questions de doctrine.

III

TRAVAUX ET CRITIQUES DE M. LÉVY.

APPAREIL PROPOSÉ EN 1869.

27. Dans une communication faite à l'Académie des sciences le 29 novembre 1869, M. Maurice Lévy a proposé un appareil d'un genre nouveau pour les ponts biais. Avant de l'examiner, je vais reproduire intégralement le texte de l'auteur.

Note sur un système particulier de ponts biais.

« Il existe un grand nombre de tracés de ponts biais ; tous reposent sur ce principe, que, les surfaces de joints devant être normales à la fois à l'intrados et aux plans des têtes, les lignes que ces surfaces tracent sur l'intrados doivent être normales aux courbes des têtes et ne sauraient par suite coincider sur toute leur longueur avec les génératrices du cylindre d'intrados. Dans le système que j'ai l'honneur de présenter à l'Académie, les traces des joints sur l'intrados sont au contraire les génératrices droites de celui-ci, et leurs traces sur les têtes sont également des droites normales aux courbes des têtes, de sorte qu'à n'en juger que par son aspect extérieur, le berceau biais semblerait appareillé exactement comme un berceau droit. Et pourtant, toutes les surfaces de joint y sont, comme le veulent les règles de l'art, normales à l'intrados et aux têtes.

« Un tel résultat pourrait sembler et a toujours paru aux constructeurs impossible à atteindre, et quand mon travail ne ferait qu'en montrer la possibilité, il offrirait déjà quelque intérêt ; mais le nouvel appareil a aussi l'avantage d'être très-simple : tous les joints, au lieu d'être formés par des surfaces gauches, comme dans les appareils usités, le sont par des portions de surfaces planes ou coniques ; de plus, les voussoirs portant sur l'intrados par des lignes droites horizontales, tout en coupant les têtes à angle droit, les conditions de stabilité sont en quelque sorte les mêmes que dans les ponts droits ; aucune *poussée au vide* ne saurait se produire [1].

1. « Avec tous les tracés usités, il y a plus ou moins de poussée au vide, sur les portions des têtes placées du côté des angles aigus des culées. »

« Voici en quoi consiste le nouvel appareil :

« Soit A A′ une génératrice de l'intrados; je me propose de déterminer une surface de joint passant par cette droite et coupant à angle droit l'intrados, ainsi que les plans des têtes. A cet effet, par la droite A A′ conduisons un plan N normal à l'intrados, et par les extrémités A et A′ de cette droite, menons dans les plans de tête des normales AK et A′K′ aux courbes d'intersection de ces plans avec l'intrados.

« Nous prolongerons le plan N jusqu'à son intersection, suivant BB′, avec un plan horizontal H pris à une hauteur arbitraire au-dessus de la voûte ; soient K et K′ les traces des droites AK et A′K′ sur ce même plan. Par les points K et K′ et dans le plan H, faisons passer une courbe que l'on pourra choisir à volonté, pourvu qu'elle satisfasse aux conditions suivantes : 1° d'être normale aux plans des têtes en K et en K′ ; 2° d'être tangente à la droite BB′ en un point quelconque C de cette droite [1].

« Si l'on construit maintenant une surface conique, ayant pour sommet le point A et pour directrice la portion K C de la courbe dont nous venons de parler, et une autre portion de cône ayant pour sommet le point A′ et pour directrice la portion K′ C de la même courbe, il est clair que ces deux cônes couperont les deux têtes à angle droit, et suivant les droites AK et A′K′; ils pourront donc servir de surfaces de joint vers les têtes. D'un autre côté, ces cônes ont, pour plan tangent commun, le plan N normal à l'intrados; ce plan complétera donc le joint; il se raccordera avec les deux cônes suivant les droites AC, A′C′, en sorte que le joint sera formé de la portion plane triangulaire A A′C normale à l'intrados tout le long de la génératrice A A′, cette partie plane s'infléchissant à partir de la ligne AC suivant une surface conique normale à l'une des têtes, et à partir de la ligne A′C suivant une surface conique normale à la seconde tête. On voit combien il est simple. Les joints en travers de la voûte seront plans et dirigés suivant les sections droites du cylindre d'intrados, exactement comme dans les berceaux droits. Cet appareil est donc d'une exécution infiniment plus facile et plus économique que les appareils usités aujourd'hui; il paraît en outre très-avantageux au point de vue de la stabilité, comme nous l'avons fait remarquer plus haut, et pourra, par suite, permettre des biais considérables. A tous ces points de vue, nous pensons qu'il mérite de fixer l'attention des constructeurs. »

28. D'après la première phrase de la note qui précède, les ingénieurs ne se préoccuperaient, pour les lits des assises d'une

1. « On pourra former la courbe K K′ de deux arcs de cercles tangents l'un à l'autre ; on mènera un premier arc de cercle passant par le point K, normal à la tête en ce point et tangent à la droite BB′ ; puis un second arc passant par le point K′, normal à la tête en ce point et tangent au premier arc. »

arche biaise, que d'avoir des surfaces normales à l'intrados et aux plans de tête. L'étude que j'ai présentée dans le second paragraphe, et dont les résultats sont résumés à l'article 26, me semble réfuter cette assertion.

On trouve, dans trois des auteurs que j'ai analysés, Monge, Nicholson et M. Praly, des passages qui peuvent faire croire qu'ils ont pensé que le problème consiste à obtenir des voussoirs ayant des angles droits.

J'ai reproduit le passage de Monge : il paraît positif; mais, Monge a mis de côté la règle qu'il avait posée. Dans le biais passé, seul appareil de voûte oblique que contienne la collection de l'École polytechnique, les lits sont normaux sur tous les plans parallèles aux têtes, rencontrent obliquement l'intrados et ne passent pas par ses lignes de courbure.

J'ai rapporté l'article de Nicholson : la doctrine du « right-angled solid » y paraît formellement exprimée; mais les lits adoptés par Nicholson sont dans les mêmes conditions relatives par rapport aux têtes et par rapport aux plans qui leur sont parallèles.

Les règles données par M. Praly, à la page 130 de son livre, ne semblent pas douteuses; mais cet auteur a exprimé des opinions différentes dans d'autres passages, et, d'ailleurs, la réflexion que j'ai faite pour Nicholson lui est applicable. Il faut encore remarquer que M. Praly veut l'angle droit, non-seulement pour les biveaux des voussoirs, mais encore pour leurs panneaux.

Je crois que M. Lévy est le seul auteur qui ait accepté, avec toutes ses conséquences, la doctrine que l'angle dièdre droit possède en lui-même une vertu pour produire l'équilibre. Son appareil, du reste, ne satisfait pas complétement aux conditions qu'il pose, car les plans des joints discontinus ne sont pas normaux aux surfaces des cônes.

29. M. Lévy prend, pour lignes d'assise, des génératrices du cylindre d'intrados, et veut que les lits rencontrent normalement les têtes et la douelle. Ces conditions conduisent à un raccordement de surfaces, qu'il a effectué, en formant chaque lit d'un plan prolongé par deux portions de cône. Il croit que c'est la difficulté de ce raccordement qui a empêché les ingénieurs

de prendre des génératrices de l'intrados pour lignes d'assise dans les biais un peu prononcés, et qui les a conduits aux appareils actuels.

La difficulté qu'il signale à cet égard, si toutefois c'en est une, n'existe pas pour les grands biais, parce qu'on établit à chaque tête une voussure ou au moins un chanfrein, et que, par suite, les lignes d'assise sur l'intrados principal ne rencontrent pas les courbes de tête; or, c'est précisément pour aborder les grands biais que les ingénieurs ont abandonné les génératrices comme lignes d'appareil. On voit que M. Lévy est complétement en dehors des conditions réelles et pratiques de la question.

30. En fait, plusieurs ingénieurs ont cherché à former les lits de plans normaux à l'intrados, prolongés par des surfaces normales aux parements des têtes : c'est là le but de l'appareil orthogonal convergent; mais toujours on a voulu que l'appareil biais s'étendît à quelque distance des têtes. M. Lefort et M. Graeff ont proposé sur ce point des règles précises. J'ai fait connaître les pratiques de M. Curioni et de M. Bashforth, telles qu'elles résultent de leurs dessins. Ici, je veux seulement constater qu'aucun des ingénieurs qui ont cherché à conserver les assises horizontales n'a cru que l'on pût, sans compromettre la stabilité de la voûte, réduire au delà d'une certaine limite la partie qui reçoit un appareil de pont biais.

Lorsque, mettant de côté la doctrine de M. Lévy, on compare l'appareil orthogonal convergent avec l'appareil à cônes, on reconnaît que ce dernier est l'exagération d'une combinaison judicieuse.

31. M. Lévy pense que son appareil présente, au point de vue de la stabilité, des qualités toutes spéciales. Voici comment il s'exprime sur ce sujet : « Les voussoirs portant sur l'intrados par des lignes droites horizontales, tout en coupant les têtes à angle droit, les conditions de stabilité sont en quelque sorte les mêmes que dans les ponts droits; aucune *poussée au vide* ne saurait se produire. »

Ce passage eût été tout à fait inintelligible pour moi sans la note suivante qui l'accompagne :

« Avec tous les tracés usités, il y a plus ou moins de poussée

au vide sur les portions des têtes placées du côté des angles aigus des culées. »

Dans les parties qu'indique M. Lévy, les pierres tendent, lors de la pose, à glisser sur les couchis en dehors des maçonneries, par suite de l'inclinaison qu'ont en général les lignes d'assise, et il croit avoir de meilleures conditions de stabilité, parce que ses « voussoirs portent sur l'intrados par des droites horizontales. »

Il me semble qu'on ne peut rien préjuger sur la solidité d'un ouvrage, de ce que, pendant la construction, les matériaux qui le composent ont besoin d'être maintenus dans leur position.

Je me suis occupé de cette question à l'article 20.

D'après ce qui précède, la doctrine de M. Lévy ne consiste pas uniquement, comme j'avais cru le comprendre, à assembler des voussoirs ayant des angles droits; elle attribue encore de l'importance au degré d'inclinaison des lignes d'assise sur l'horizon.

32. Après avoir établi, par les raisonnements que nous avons vus, l'excellence de son appareil, M. Lévy ne pouvait avoir des doutes sur l'importance des résultats que l'on doit en attendre; aussi termine-t-il en disant que sa combinaison pourra permettre des biais considérables.

Ce passage fait connaître les intentions de l'auteur : M. Lévy propose son appareil pour les grands biais.

33. J'aurais désiré joindre à ce travail quelques-uns des dessins que j'ai faits pour bien comprendre la forme des cônes de M. Lévy, et la manière dont ils s'emboîtent les uns dans les autres; mais comme les tracés présentent beaucoup d'incertitude, j'ai craint de m'exposer à la critique.

Un lit est déterminé, par sa trace, sur un certain plan horizontal H situé à une hauteur « arbitraire. » Or cette hauteur influe essentiellement sur la forme et l'étendue des surfaces coniques : plus elle est grande, et plus la partie utile du plan N est considérable.

L'arbitraire laissé pour la courbe K C K′ est une seconde cause d'incertitude. M. Lévy donne, il est vrai, un tracé par deux arcs de cercle; mais les diverses solutions auxquelles cette

construction conduit sont quelquefois toutes également impossibles.

Si l'on appelle I le point de contact des deux cercles, la nature du problème exige : 1° que la ligne continue (c'est-à-dire sans rebroussement) K I K' soit tout entière entre les deux droites parallèles K B et K' B'; 2° que le point C soit, sur cette ligne, entre K et I.

Je crois que M. Lévy n'a pas fait attention à ces conditions indispensables.

Dans bien des cas, d'ailleurs, les tracés, bien que possibles, me paraissent inacceptables par suite des dimensions et des formes qui en résulteraient pour les pierres.

34. Si M. Lévy veut appeler sérieusement l'attention des ingénieurs sur sa combinaison, il devra, je crois, produire ses dessins. Alors seulement on pourra examiner les détails et voir, notamment, si l'appareil à cônes serait « d'une exécution infiniment plus facile et plus économique que les appareils usités aujourd'hui. »

En l'absence de dessins, les considérations que je pourrais présenter sur ce sujet conduiraient à une discussion assez obscure.

J'ai fait connaître, à l'article 16, les grandes facilités que l'appareil hélicoïdal présente pour la taille et la pose des voussoirs. Il paraît peu possible de trouver des solutions aussi avantageuses. Je dois ajouter que quand les bandeaux des têtes sont seuls en pierre de taille, c'est-à-dire dans le cas le plus ordinaire, on donne des lits plans aux voussoirs, et qu'alors toutes les difficultés de la taille ont disparu. L'appareil de M. Lévy ne peut pas se prêter à cette simplification.

ASSERTION DE M. MAURICE LÉVY, SUR UNE ERREUR GÉOMÉTRIQUE QUI SERAIT ENSEIGNÉE PARTOUT.

35. Une notice distribuée à la fin de 1871, par M. Maurice Lévy, contient le passage suivant [1] :

GÉOMÉTRIE DESCRIPTIVE.

Sur un système particulier de ponts biais.

(Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences du 29 novembre 1869).

En imaginant un nouvel appareil de pont biais, je n'ai pas cédé à un désir d'innovation : j'ai eu pour but de montrer que, contrairement aux idées reçues, on pouvait étendre aux ponts biais cette règle énoncée d'intuition par Monge : *que toutes les voûtes doivent être appareillées suivant les lignes de courbure de leurs surfaces d'intrados.* Cette règle s'est trouvée exacte pour [toutes les] voûtes connues, excepté pour les ponts biais, auxquels les principes généraux de la coupe des pierres paraissent devoir en rendre l'application impossible. Ces principes veulent, en effet, que les voussoirs d'une voûte quelconque soient, le long de toutes leurs arêtes, terminés par des angles droits. Or les voussoirs de tête d'une voûte biaise ne paraissent pouvoir satisfaire à cette condition que si les lignes de joint sur l'intrados sont normales aux têtes; et, s'il en était ainsi, ces lignes de joint ne pourraient être les lignes de courbure, c'est-à-dire les génératrices rectilignes et les sections droites de la voûte biaise.

Dans la Note dont je rends compte, je montre qu'on est, sous ce rapport, dans une erreur complète; que, dans une voûte biaise aussi bien que dans les voûtes droites, on peut constituer des voussoirs de tête terminés partout à angle droit, sans cesser d'appareiller suivant les lignes de courbure

1. Notice sur les travaux et titres scientifiques de M. Maurice Lévy, ingénieur des ponts et chaussées, ancien répétiteur de mécanique à l'École polytechnique, docteur-ès-sciences, membre de la Société philomatique de Paris, présentée à l'appui de sa candidature à l'Académie des sciences (section de mécanique). Paris, Gauthier-Villars, 1871.

du cylindre d'intrados, et qu'ainsi l'existence des ponts biais ne met nullement la règle de Monge en défaut.

C'est donc pour dissiper une erreur géométrique enseignée [partout, même à l'École] polytechnique, que j'ai imaginé mon appareil de ponts biais. Cet appareil se distingue ainsi de tous ceux qui existent, et il se trouve que c'est celui qui paraît devoir assurer aux voûtes biaises le plus de stabilité. Il est donc permis d'espérer que, moyennant cet appareil, on pourra dépasser dans la pratique les biais qu'on a atteints jusqu'ici.

On lit dans le résumé qui termine la notice.

8° Mon appareil de pont biais dissipe une erreur géométrique enseignée [jusqu'ici] dans tous les cours de stéréotomie, y compris celui de l'École polytechnique; il offre d'ailleurs, comme il est aisé de le comprendre, des conditions toutes particulières de stabilité.

Au commencement de 1872, M. Lévy, s'étant porté candidat à une des chaires de mécanique de l'Ecole polytechnique, a fait une nouvelle distribution de sa notice, après avoir rayé les mots que j'ai placés entre des crochets, et les avoir remplacés à la main par les suivants:

1er passage : beaucoup de;
2e passage : autrefois partout, même à l'ancienne École;
3e passage : autrefois.

36. J'ai professé la stéréotomie à l'École polytechnique pendant quinze ans; j'y ai introduit la question des arches biaises en 1850, et mon successeur, M. Mannheim, n'a pas modifié les bases de cet enseignement. Les critiques de M. Lévy, avant comme après les corrections[1], s'adressent donc à moi d'une manière toute spéciale.

Ma réponse sera nette.

Je ne me suis jamais inquiété de savoir si, « dans une voûte

1. Je ne comprends pas bien le sens et le but des deux dernières corrections. Dans une pièce postérieure dont j'aurai l'occasion de parler plus loin (la Réponse lithographiée), M. Lévy a écrit : « le cours professé autrefois par M. de la Gournerie. » Il semble d'après cela que le mot « autrefois » désigne l'époque à laquelle j'étais professeur, et que son addition dans la Notice a pour but de bien préciser que c'est à moi que s'adresse la critique. L'ancienne École polytechnique, serait l'École dans sa période de 1850 à 1865.

biaise, on peut constituer des voussoirs de tête terminés partout à angle droit, sans cesser d'appareiller suivant les lignes de courbure du cylindre d'intrados. »

Cette question n'a d'intérêt que pour les personnes qui font résider le principe de l'équilibre dans l'angle dièdre droit.

N'ayant à aucune époque admis cette doctrine, je n'ai pas eu à m'occuper de ses conséquences.

Dans mon enseignement à l'École polytechnique et au Conservatoire des arts et métiers, j'ai toujours établi la théorie de l'appareil de l'arche biaise sur le principe de construction posé par Chapman.

Les critiques de M. Lévy n'ont par conséquent, en ce qui me concerne, ni fondement, ni prétexte.

Examinateur de sortie à l'École polytechnique, depuis que j'ai cessé d'être professeur, je connais par moi-même l'enseignement qui y est donné pour la stéréotomie, et j'affirme que les critiques de M. Lévy sont aussi peu fondées à l'égard de mon savant successeur qu'à mon égard.

Je ne crois pas qu'il existe un cours de stéréotomie où l'on enseigne la doctrine de l'angle dièdre droit, et où, par suite, il soit possible de commettre l'erreur géométrique signalée par M. Lévy.

L'assertion que toutes les voûtes connues, sauf les ponts biais, sont appareillées suivant les lignes de courbure de l'intrados, permet d'apprécier l'étendue des connaissances de M. Lévy en stéréotomie, deux ans après l'invention de l'appareil à cônes. (Voir l'article consacré à Monge.)

Je ne présente aucune observation au sujet de l'espérance que l'auteur témoigne dans sa dernière phrase, parce que je doute qu'il sache quels sont les biais qui ont été atteints jusqu'ici.

NOUVELLES CRITIQUES DE M. LÉVY.

37. Il ne m'était pas possible de laisser sans réponse des critiques adressées, sur mon enseignement, par un savant, aux membres de l'Académie des sciences et aux personnes qui composent les conseils de l'École polytechnique. Je rédigeai une note, et le 15 janvier je la communiquai à M. Lévy, en lui demandant ses observations. Une discussion publique, mais

après une entente, me paraissait la meilleure solution à donner à cette affaire dont je ne voulais certainement pas exagérer l'importance.

38. Quelques jours après avoir reçu ma Note, M. Lévy a fait distribuer une pièce lithographiée intitulée : « *Réponse de M. Maurice Lévy à une note sur les arches biaises déposée par M. de la Gournerie au Conseil d'instruction de l'École polytechnique à l'occasion de l'élection d'un candidat à la chaire de mécanique.*

Ce titre contient une assertion complétement inexacte. Je n'ai déposé aucune pièce au Conseil d'instruction de l'École polytechnique. La note que j'ai adressée à M. Lévy n'avait été communiquée qu'à M. Mannheim.

La lecture de la Réponse lithographiée m'a montré qu'une entente était impossible, et que si je ne voulais pas avoir à me débattre indéfiniment contre des assertions sans preuves et des doctrines sans valeur, je devais reprendre la question à ses premiers principes, faire justice des prétendues *règles de la coupe des pierres*, exposer tous les faits essentiels en m'appuyant sur des documents connus, examiner les diverses théories en citant les pages des auteurs, et ne répliquer qu'après avoir établi une base solide pour la discussion. J'ai ainsi été conduit au travail que le lecteur connaît. J'en ai un peu élargi le cadre dans l'espoir qu'il pourrait avoir quelque utilité en dehors de la polémique que je suis obligé de soutenir.

La Réponse lithographiée paraît n'avoir été distribuée qu'à un petit nombre d'exemplaires, peut-être une trentaine; mais les écrits de ce genre sont quelquefois recherchés en raison même de leur rareté. On les classe souvent dans les collections de Notices, et ils peuvent passer avec elles dans les dépôts publics. En fait, personne ne peut supprimer cette pièce, et par suite, elle appartient à la discussion. Si je négligeais d'en parler, il resterait établi, notamment, que j'ai déposé une Note au Conseil d'instruction de l'École polytechnique à l'occasion de la candidature de M. Lévy à une chaire de mécanique.

39. Au commencement de la Réponse lithographiée, M. Lévy reproduit un assez long passage de ma Note du 15 janvier. Je ne crois pas qu'il eût le droit de le faire, car cette pièce, bien que

destinée à l'impression, avait un caractère confidentiel. Je pouvais la modifier et même la supprimer comme je l'ai fait, lorsque j'ai reconnu que je n'avais pas compris la situation et qu'un travail tout différent était indispensable.

Je sais bien que M. Lévy croyait répondre à une Note déposée au Conseil d'instruction de l'École polytechnique; mais cette erreur est assez difficile à expliquer.

40. M. Lévy cite ensuite quelques passages des *feuilles autographiées* du cours que j'ai professé à l'Ecole polytechnique en 1861-1863. Cette rédaction, qu'il présente comme étant de moi[1], a été faite par des élèves, avec une grande rapidité, et sans aucune intervention de ma part[2]. Elle contient beaucoup de négligences, et je ne l'accepte qu'avec des réserves. Je n'ai, du reste, aucune objection à faire contre les citations à l'aide desquelles M. Lévy établit, dans le passage suivant, que j'ai adopté le principe de Chapman.

« Je trouve sous ce titre : « Solution *exacte* du problème des « biais, » un paragraphe commençant par ces mots : « Peut-on « satisfaire à la *double* condition d'avoir les lits normaux à l'in- « trados, en même temps que normaux aux plans des têtes et « à *tous les plans parallèles*? » M. de la Gournerie regarde donc « bien cette dernière condition comme caractéristique de la so- « lution *exacte* du problème des biais; et il lui accorde si bien « le même caractère obligatoire qu'aux deux premières, que « des trois il ne fait qu'une condition *double*[3]. »

1. Voici les paroles de M. Lévy :

Je prends l'argument fondamental de M. de la Gournerie :

« L'étude des pressions au moyen des lois de la mécanique, dit-il, montre que... »

2. Le cours de géométrie descriptive de M. Mannheim a été rédigé cette année dans les mêmes conditions.

Les écrits de ce genre présentent, en général, d'une manière exacte, les tracés, les calculs et les raisonnements géométriques; mais ils laissent souvent à désirer pour les déductions d'une nature plus délicate, notamment lorsqu'il s'agit d'apprécier des résultats d'expérience qui ne peuvent pas être exprimés par des chiffres.

3. Je n'ai rien souligné. Les mots en italique sont en ronde dans la Réponse lithographiée.

41. Il n'est pas possible de montrer d'une manière plus positive que les tracés expliqués dans mon cours ne reposent pas « sur ce principe, que les surfaces de joints devant être à la fois normales à l'intrados et aux plans des têtes, les lignes que ces surfaces tracent sur l'intrados doivent être normales aux courbes des têtes et ne sauraient par suite coïncider sur toute leur longueur avec les génératrices du cylindre d'intrados. »

On voit que M. Lévy abandonne complétement son assertion de 1869, qui forme la base de toutes ses critiques. Il reconnaît, il *prouve* que je n'ai jamais cru que, pour construire avec solidité une arche biaise, il fût suffisant de la composer de pierres ayant des angles dièdres droits.

Il suit de là que je n'ai pas eu à m'occuper du problème géométrique que M. Lévy s'est posé, et que je ne suis pas tombé dans « l'erreur complète » qu'il a signalée aux membres de l'Académie des sciences.

42. M. Lévy ne cherche pas, le moins du monde, à expliquer comment il a pu m'attribuer des opinions contraires à tout ce que j'ai enseigné, et m'adresser des critiques qui n'ont aucun fondement. Il les remplace tout simplement par d'autres critiques : on ne pourrait pas établir, « par des raisonnements exacts, » que les lits doivent être normaux à tous les plans parallèles aux têtes ; « rien dans la théorie mathématique de l'élasticicité ne confirme la théorie de M. de la Gournerie sur la transmission des poussées suivant des sections parallèles aux têtes[1]. »

Le parallélisme des pressions aux plans de tête est une loi expérimentale et approximative dont je n'ai pas cherché à donner une démonstration par les principes de la mécanique moléculaire.

M. Lévy aurait pu étendre à toutes les questions de la stéréotomie le nouveau reproche qu'il m'adresse. Je n'ai jamais donné de démonstrations rigoureuses pour les lois des pressions qui servent de base aux divers appareils.

1. M. Lévy paraît croire que c'est moi qui ai introduit l'hypothèse du parallélisme des pressions aux têtes.

Je n'ai pas besoin d'ajouter qu'il n'émet aucune opinion sur la direction des pressions.

43. M. Lévy avait imaginé son appareil pour dissiper une erreur géométrique; il le maintient pour dissiper une erreur mécanique, mais en le réduisant, comme on va voir, à un rôle très-modeste. Il ne se préoccupe plus, comme en 1869, de la condition de l'horizontalité des assises (art. 31), peut-être parce qu'elle conduit aux lignes de courbure, et qu'il a enfin appris que les arches biaises ne sont pas les seules voûtes connues dans lesquelles les lignes d'assise ne coïncident pas avec des lignes de courbure de la surface d'intrados. En se laissant exclusivement guider par le principe de l'angle dièdre droit, M. Lévy arrive à conclure qu'on ne doit pas soumettre les lits d'une voûte biaise à d'autre condition que la normalité aux plans de tête et à l'intrados, de sorte que, « contrairement à ce que l'on enseignait, les lignes d'assise peuvent rencontrer les courbes de tête, sous des angles absolument quelconques, sans cesser de satisfaire à toutes les exigences de la stabilité et de la coupe des pierres. » En variant la forme des lignes d'assise et leur incidence sur les têtes, on obtient « une infinité de solutions nouvelles du problème des biais, » au milieu desquelles l'appareil de 1869 ne se distingue que parce qu'il forme trompe-l'œil[1].

On trouve exactement de la même manière une infinité de solutions pour l'arche droite ou toute autre construction.

44. D'après cette théorie, on peut prendre des plans aussi inclinés qu'on le veut pour former les lits des assises d'un pilier, pourvu qu'ils coupent deux des parements à angle droit, et qu'on les termine par de petites surfaces cylindriques normales aux deux autres parements. Ces surfaces joueraient exactement le rôle des deux cônes qui constituent la découverte faite par M. Lévy en 1869. On supprimerait naturellement une d'elles

1. On lit dans la Réponse lithographiée :

« L'importance de cette remarque consiste en ce qu'elle fait connaître une infinité de solutions nouvelles du problème des biais et notamment celle que j'ai décrite en prenant pour lignes d'assises les génératrices et les sections droites du cylindre d'intrados et qui a ceci d'intéressant que le pont biais vu extérieurement semble appareillé absolument comme un pont droit, tout en satisfaisant à toutes les règles de l'art. »

lorsque le plan incliné d'un lit rencontrerait normalement la surface d'une moulure à la base ou à la corniche.

On pourrait établir tout simplement des cannelures horizontales sur deux parements du pilier, et prendre pour lits des plans dirigés en pente d'une cannelure à une autre.

Le résultat que M. Lévy a obtenu paraît être de la plus haute importance. Lorsqu'il sera bien confirmé, les appareilleurs n'auront plus à s'inquiéter de la direction des pressions; les architectes devront profiter, pour la décoration, des nouveaux agencements des pierres : ce sera une révolution dans l'art de bâtir.

45. M. Lévy appuie ses raisonnements sur la théorie mathématique de l'élasticité. Je ne veux ni apprécier ni reproduire les considérations qu'il présente à ce sujet, parce que je suis bien décidé à ne pas me laisser entraîner dans une discussion sur la mécanique moléculaire.

L'architecture n'a pas attendu la théorie de l'élasticité pour élever des voûtes de toutes les formes, des escaliers suspendus, des trompes d'une grande hardiesse et des arches d'une extrême obliquité. Cette théorie donnera plus tard aux constructeurs des enseignements utiles; mais il faut, auparavant, qu'elle présente une série de déductions pratiques, et qu'elle en affirme la justesse en montrant leur concordance avec les dispositions des appareils éprouvés. Actuellement, la stéréotomie ne doit pas abandonner sa base expérimentale.

Quant à Lamé, dont j'aperçois le nom au bas d'une page de M. Lévy, son opinion sur l'appareil des arches biaises est connue : on possède, en effet, des calculs « très-laborieux, » qu'il a faits pour déterminer rigoureusement le tracé des lignes d'assises d'un pont voisin de Paris, construit dans le système orthogonal convergent. (Voir le premier mémoire de M. Lefort, p. 312.)

46. Après avoir exposé sa découverte, M. Lévy ajoute :

« Il n'est peut-être pas sans intérêt de faire ressortir ici qu'en démontrant *rigoureusement* les deux premières conditions, et en ne donnant *à priori* aucun motif de croire à la nécessité de la

troisième, la théorie mathématique de l'élasticité est en parfaite harmonie d'une part avec les règles de la coupe des pierres et d'autre part, avec le sentiment pratique des ingénieurs qui les porte à ne jamais négliger les deux premières conditions et à s'affranchir souvent de la troisième. »

La troisième condition, dont il est ici question, est la normalité des lits sur les plans parallèles aux têtes.

Le lecteur sait ce qu'il faut entendre par « les règles de la coupe des pierres. »

Le passage que j'ai reproduit prendra beaucoup d'importance lorsque M. Lévy aura fait connaître quels sont les ingénieurs qui s'affranchissent de la troisième condition, et où sont les ponts qu'ils ont construits.

Il lui sera sans doute facile de donner ce renseignement, puisque la chose arrive « souvent. »

L'appareil orthogonal convergent qui n'a été que *très-rarement* employé, est, à ma connaissance, le seul appareil de grand biais dans lequel les lits n'ont pas les mêmes positions relatives, par rapport aux têtes et par rapport aux plans qui leur sont parallèles. Je me suis expliqué sur cet appareil dans plusieurs passages et notamment à l'article 30.

47. M. Lévy termine la Réponse lithographiée par des conclusions dont la dernière est : « Que la troisième condition (orthogonalité des surfaces des lits à tous les plans parallèles aux têtes), que M. de la Gournerie donne comme nécessaire, est essentiellement facultative et qu'en enseignant que cette troisième condition est indispensable à la solution exacte du problème des biais, c'est-à-dire à la solution dont le principe sinon les détails doit être respecté d'une manière absolue dans la pratique, l'éminent professeur enseigne comme exacte une solution qui ne l'est ni plus ni moins qu'une infinité d'autres en usage dans des ouvrages existants et qu'une nouvelle infinité résultant de la remarque que j'ai faite. »

Voilà les ingénieurs en présence de deux infinités de solutions pour le problème des biais! Je n'attache, bien entendu, aucune importance à la seconde; mais je serais très-désireux de savoir quelque chose de la première, de celle qui est composée d'appareils en usage dans des ouvrages existants et établis d'après

des principes autres que la normalité des lits sur les plans parallèles aux têtes.

En faisant connaître ces faits importants et ignorés, M. Lévy aura rendu un véritable service à l'art des constructions.

48. La réponse qui a été faite à ma Note manuscrite du 15 janvier peut faire penser que M. Lévy abandonnera ses dernières critiques pour en formuler de nouvelles. Sans aimer la polémique, je ne suis pas homme à déserter un débat utile; mais une discussion n'offre aucun intérêt lorsqu'elle s'égare, et que les questions de fait elles-mêmes ne sont pas résolues. Je suis donc décidé à ne pas suivre M. Lévy sur un nouveau terrain.

Le travail que je soumets au public savant indique d'une manière très-nette les limites de la discussion.

Paris, 10 mai 1872.

NOTE

SUR L'EMPLOI SIMULTANÉ

DES APPAREILS ÉLECTRIQUES A INDUCTION

ET DES

APPAREILS DE DÉFORMATION DES SOLIDES

POUR L'ÉTUDE DES LOIS DE MOUVEMENT DES PROJECTILES
ET DE LA VARIATION DES PRESSIONS DANS L'AME DES BOUCHES A FEU

PAR M. LE GÉNÉRAL MORIN.

L'étude des effets, si complexes et si rapides, que les substances explosives et la poudre en particulier exercent, soit dans l'intérieur des bouches à feu, soit sur les projectiles, a depuis longues années occupé les savants et les artilleurs les plus distingués. Il a été donné à l'illustre Piobert de résoudre scientifiquement cette question si délicate et de déduire de ses recherches des conséquences d'une grande utilité pour le service de l'artillerie. Mais il restait à trouver des moyens d'expérimentation directe qui, en dispensant de calculs longs et laborieux, permissent d'obtenir, de ces effets, des indications certaines, à l'abri des doutes que laissent trop souvent dans l'esprit les déductions le mieux fondées de la science.

Dès l'année 1854, un officier d'artillerie, M. Martin de Brettes, dans un Mémoire présenté à l'Académie des Sciences, proposait l'emploi de l'étincelle d'induction pour obtenir des indications du passage des projectiles à travers des cadres placés à des distances connues. M. le capitaine Navez, en Belgique, M. le capitaine Vignotti, à Metz, et M. Schultz, en 1859, ont

aussi eu recours aux mêmes moyens pour la détermination des vitesses initiales et pour l'étude des effets de la résistance de l'air. Plusieurs de ces savants officiers, et M. Schultz en particulier, avaient aussi indiqué la possibilité d'étudier, par de semblables appareils, la loi du mouvement des projectiles dans l'âme même des bouches à feu.

Mais, jusqu'à ce jour, aucune serie d'expériences complètes n'était parvenue à notre connaissance.

D'une autre part, la détermination des pressions développées par les gaz produits pendant la déflagration des substances explosives, essayée par des moyens divers à l'étranger et en France, n'avait été jusqu'à ces derniers temps que l'objet d'expériences partielles.

Des essais, qui devaient conduire à des résultats d'une précision suffisante, basés sur les études de M. Tresca[1], relatives à l'écoulement des solides, avaient été, dès 1866, tentés en France par MM. de Reffye et Pothier. Ils avaient pour objet la détermination des efforts exercés par les gaz en différents points de l'âme de la pièce et sur la base du projectile lui-même par la compression et l'écoulement de cylindres en plomb, sous forme de jets tronconiques. Ce procédé paraît susceptible de donner des résultats plus précis que ceux qui ont été jusqu'ici mis en usage. Malheureusement ces expériences ont été interrompues

1. Je crois devoir compléter les indications générales qui précèdent par les détails suivants :

La propriété qu'ont les solides de s'écouler à la manière des liquides sous de fortes pressions, constatée par les belles expériences de M. Tresca, promettait une solution du problème plus favorable que celles, qui avaient été essayées jusqu'alors. En 1866, l'application en fut proposée d'abord à M. le commandant de Montluisant, qui cherchait un moyen dynamométrique convenable, puis à M. le commandant de Reffye, pour ses essais sur la pièce de 7.

Des éprouvettes à piston furent disposées dans l'épaisseur de la paroi d'une bouche à feu à des distances rapprochées. Les premières expériences montrèrent que des cylindres en plomb placés à leur base étaient parfois expulsés en totalité par le canal cylindrique disposé pour leur écoulement par un orifice d'un diamètre moindre. M. de Reffye modifia le canal d'écoulement de l'éprouvette et le remplaça par un canal conique, dans lequel la résistance variait nécessairement d'une manière croissante.

Les charges nécessaires pour déterminer un écoulement conique de longueur donnée furent constatées au Conservatoire des Arts et Métiers par des expé-

par les événements et n'ont pas encore été reprises, ce qui est surtout regrettable, en ce moment où la question présente un intérêt d'autant plus grand qu'il s'agit à la fois d'augmenter les vitesses, les portées et le poids des projectiles.

En attendant que ces recherches importantes, trop longtemps différées, soient reprises en France, il m'a paru utile de porter à la connaissance des physiciens, et surtout à celle des officiers d'artillerie, l'ensemble des moyens analogues employés et des résultats obtenus dans des expériences récemment exécutées en Angleterre.

Les résultats dont je me propose de parler dans cette Note sont principalement ceux qui font l'objet des rapports sommaires adressées au Secrétaire d'État de la guerre, en Angleterre, par la *Commission des substances explosives*[1].

Nous devons la connaissance de ces documents importants à l'obligeance des officiers, membres de cette Commission, qui ont eu, en outre, la courtoisie de reconnaître qu'une partie des moyens d'observation qu'ils ont mis en usage leur avaient été suggérés par les recherches entreprises par l'artillerie française.

Comme l'indique le titre de cette Commission, il n'est question dans ces rapports que des propriétés des matières explosives, et en particulier des effets que produisent, dans les bouches à feu, certaines variétés de poudre.

riences directes, et montrèrent que ces longueurs étaient proportionnelles aux efforts correspondants, au moins dans la limite des essais à faire.

Les formules de la déformation justifièrent bientôt ce résultat, et le moyen destiné à constater la pression maximum aux différents points de la paroi intérieure de l'âme fut ainsi réalisé dans des conditions de simplicité telles que MM. de Reffye et Pothier purent l'appliquer à la surface même du culot du projectile pour connaître la pression déterminée sur cette paroi au moment du développement du plus grand effort du gaz.

La grande régularité de résistance du plomb, la facilité de couler et de préparer dans une même masse de ce métal un très-grand nombre de cylindres homogènes pour une même éprouvette, la longueur relativement considérable des jets, donnent à ce moyen d'expérimentation une précision très-supérieure à celle des autres dispositifs employés jusqu'à ce jour.

1. Cette Commission était composée de MM. Jounghusband, colonel de l'artillerie royale; A. Noble et W.-H. Noble, capitaines; F.-A. Abel, chimiste; C.-M. Molony, capitaine, et Morgan Singer, capitaine de la marine royale.

Je donne plus loin la traduction complète des premiers rapports sommaires de la Commission anglaise, et j'y renvoie pour la description des appareils employés.

Dans ces recherches on a déterminé :

1° A l'aide d'un chronoscope électrique proposé par M. le capitaine A. Noble, de l'artillerie royale, la loi du mouvement du projectile dans l'âme. Cet appareil avec lequel on obtient, à l'aide de l'étincelle d'induction, des traces de mouvements qui s'accomplissent pendant quelques millièmes de seconde, permet d'apprécier la durée des trajets jusqu'à des 100 millièmes, et même, assure-t-on, jusqu'à des millionièmes;

2° Les intensités variables de la tension des gaz depuis les premiers instants de l'inflammation jusqu'à la sortie du projectile. On s'est servi, à cet effet, d'un appareil dans lequel de petits cylindres en cuivre sont comprimés par l'action des gaz à des degrés différents, et des observations préliminaires permettaient d'apprécier la relation des déformations avec les pressions qui les avaient produites.

Ce procédé, qui paraît avoir donné des résultats généraux satisfaisants, a fourni une vérification très-remarquable des lois que Piobert avait trouvées pour la marche de ces pressions. On peut en juger en jetant un coup d'œil sur les figures qui représentent ces résultats, et sur le croquis autographe de notre illustre confrère, qui a été présenté à l'Académie.

3° Enfin, soit par l'observation de la loi du mouvement du projectile, soit par l'emploi d'un chronoscope Navez-Leurs, on a déterminé les vitesses acquises aux différents points du parcours, dans l'âme et à une petite distance de la bouche à feu.

Tous les résultats de ces recherches sont représentés par des constructions graphiques et par des courbes dont la continuité seule indique déjà avec quelle régularité les appareils ont fonctionné.

Mais comme les deux principaux, celui qui donne la loi du mouvement du projectile et celui qui fournit la loi des pressions des gaz sont tout à fait indépendants l'un de l'autre, et que, cependant, si leurs indications sont exactes, elles doivent pouvoir se contrôler les unes par les autres, il m'a semblé utile de rechercher si, en réalité, l'on pouvait facilement parvenir à cette vérification.

Tel est le but de la présente Note dans laquelle, en partant de la représentation graphique des résultats fournis dans le Rapport de la Commission anglaise, j'ai cherché, par l'emploi de simples quadratures et de constructions élémentaires, à établir ce contrôle.

Vérification des résultats obtenus, par la Commission des matières explosives, par la discussion des tracés graphiques qui les représentent.

Courbes de pressions observées. — Ces courbes ont pour abscisses les longueurs d'âme parcourues par le projectile, exprimées en pieds anglais, et pour ordonnées les pressions exercées par les gaz, exprimées en tonnes, par pouce carré de la section de l'âme.

Par conséquent, leur quadrature fournit la valeur du travail moteur exercé par les gaz, exprimée en tonnes anglaises de 1015^kil^, élevées à 1 pied anglais de $0^m,305$.

Courbes des vitesses. — Ces courbes ont aussi pour abscisses les longueurs d'âme parcourues, exprimées en pieds anglais, et pour ordonnées les vitesses correspondantes aux mêmes positions du projectile, exprimées en pieds parcourus en 1 seconde.

Elles fournissent donc directement les vitesses à la sortie de la bouche à feu, et l'on peut en déduire la force vive imprimée, et, par suite, le travail utile réalisé, dont la comparaison avec la valeur trouvée pour le travail moteur peut donner une idée du degré d'exactitude des moyens d'observation employés.

En faisant cette comparaison pour les quatre poudres essayées, on trouve les résultats consignés dans le tableau suivant :

Résultats de la comparaison du travail moteur déduit des courbes des pressions et des forces vives communiquées aux projectiles.

ESPÈCE DE POUDRE.	Travail moteur	Travail utile.	Différence.	Proportion.
	km.	km.	km.	
Poudre de service R. L. G.	666425	678378	— 11948	— 0,018
Russe prismatique.....	737632	722099	+ 15533	+ 0,021
Pellet de service......	709768	692490	+ 17278	+ 0,024
Pebble n° 5..........	786489	730337	+ 56152	+ 0,071
	Différence moyenne..............			+ 0,020

Conséquences des résultats précédents. — On voit de suite, par les nombres consignés dans ce tableau, que les résultats des deux modes d'observation employés, mais différents et indépendants, concordent avec toute la précision que l'on peut désirer dans de semblables recherches.

Il y a tout lieu de croire que, quand on aura recours, pour la mesure des pressions, à l'emploi des jets de plomb proposés par M. Tresca et déjà essayés, comme je l'ai dit, dans des épreuves préliminaires par M. de Reffye, on parviendra à des résultats encore plus précis que ceux que peuvent fournir l'appareil de Rodman ou l'appareil d'écrasement de la Commission anglaise.

Courbes des vitesses. — L'examen de ces courbes montre de plus : 1° Que les vitesses initiales à la bouche de la pièce sont à peu près égales, avec les quatre poudres essayées, mais qu'elles croissent beaucoup plus rapidement avec la poudre de service ordinaire (R L G), qui est à grains plus petits, qu'avec les trois autres;

2° Que la longueur de 8 pieds (2^m44) avec un boulet de 15 pouces anglais (0^m381) de longueur et 8 pouces anglais ou 0^m203 de calibre, égale à $\frac{2,44}{0,203} = 12.16$ fois le calibre et avec des charges égales à $\frac{1}{6}$ du poids du projectile, suffit pour que ces charges de poudres, très-denses, soient presque complétement brûlées et produisent à peu près tout leur effet, puisqu'à cette longueur de parcours dans l'âme les vitesses ne croissent plus.

Ce résultat est très-important, attendu que les canons de 24 français ont $\frac{3,086}{0,154} = 20$ fois le calibre, ce qui serait plus que suffisant pour obtenir la même égalité dans les vitesses.

Il n'est pas inutile de faire remarquer que l'innocuité des poudres d'une assez grande densité, mais à grains très-gros, tirées à des charges de $\frac{1}{6}$ à $\frac{1}{5}$ au plus du poids du boulet, n'infirme en rien les conclusions déduites en 1834-36 par la Commission des principes du tir de Metz à la suite de ses expériences

faites avec des poudres de densités analogues, mais à grains plus fins et tirées à des charges égales au tiers du poids du boulet.

Les résultats obtenus par la Commission anglaise ont d'ailleurs complétement confirmé les vues que M. le général Didion avait émises, dès 1863, sur les avantages que pouvait procurer l'emploi des poudres à gros grains, dans un Mémoire auquel le gouvernement n'attacha pas alors l'importance qu'il méritait.

Courbes des lois du mouvement. — Ces courbes montrent, par leur continuité, que le chronoscope de M. le capitaine Noble[1] est susceptible de donner des résultats très-satisfaisants et permet de déterminer avec une précision remarquable la loi du mouvement d'un projectile dans l'âme d'une bouche à feu, quoique ce mouvement s'accomplisse parfois en moins d'un centième de seconde.

Elles ont pour abscisses les longueurs d'âme parcourues par le projectile, exprimées en pieds anglais, et pour ordonnées les temps correspondants exprimés en secondes.

En les combinant avec les courbes des vitesses acquises après les mêmes temps ou les mêmes parcours, on peut en déduire d'autres courbes ayant pour abscisses les vitesses V et pour ordonnées les temps T employés à acquérir celles-ci.

Or l'inclinaison des tangentes à ces nouvelles courbes fournissant, pour chacun des points auxquels elles sont menées, la valeur de l'accélération du mouvement, il est facile d'en déduire celle des efforts correspondants exercés sur le projectile, et, par suite, celle de la pression développée par les gaz.

De cette comparaison il doit donc résulter un nouveau moyen de contrôler les résultats fournis par les courbes des lois du mouvement, par les courbes des pressions et par les courbes des vitesses.

C'est ce que nous avons fait pour la poudre de service Pellet, tirée à la charge de 30 livres anglaises ou $13^{kg},602$, avec un projectile cylindrique de $81^{kg},612$.

1. Il y a tout lieu de croire, d'après quelques résultats obtenus en 1869 et inédits, que l'appareil de M. Schultz donnerait des résultats au moins aussi précis.

Le relèvement des éléments correspondants des courbes du mouvement et des vitesses nous a permis de former le tableau suivant :

Poudre Pellet. = Boulet n° 28 ; charge : 30 livres. (13kg,602.)

Espaces parcourus.		Temps correspondants.	Vitesse en 1 seconde.	
pi	m	s	pi	m
0,1	0,0305	0,00078	180	54,90
0,2	0,0610	0,00120	305	93,05
0,3	0,0914	0,00145	405	123,52
0,4	0,1218	0,00175	485	147,92
0,5	0,1523	0,00195	545	166,22
1,0	0,3047	0,00275	770	234,85
2,0	0,6094	0,00385	980	298,90
3,0	0,9141	0,00480	1120	341,60
4,0	1,2219	0,00568	1215	370,57
5,0	1,5235	0,00647	1270	389,35
6,0	1,8282	0,00725	1315	401,07
7,0	2,1329	0,00805	1330	405,65

En construisant la courbe dont les temps sont les abscisses et les vitesses les ordonnées, et en lui menant des tangentes en divers points, on a obtenu, par l'inclinaison de ces lignes, les valeurs de l'accélération $\frac{dv}{dt}$, et, par suite, celles de l'effort $\frac{P}{g}\frac{dv}{dt}$ exercé sur le projectile, puis, en divisant ces efforts par 324cq,29, section de l'âme, on en a déduit la pression par centimètre carré.

En mettant en regard les résultats de cette opération graphique avec ceux de l'observation directe des pressions faite par la Commission anglaise, on forme le tableau suivant :

Résultats déduits de la courbe auxiliaire des temps et des vitesses.

NUMÉROS D'ORDRE.	TEMPS écoulé depuis le départ.	ESPACE parcouru correspondant.	INCLINAISON des tangentes, ou accélération $\frac{dv}{dt}$.	PRESSIONS CALCULÉES totales $\frac{P}{g}\frac{dv}{dt}$	par centimètre carré.	PRESSIONS observées.	DIFFÉRENCES.	APPROXIMATION.
	"	m		kg	kg	kg	kg	
1	0,0015	0,093	95569	759134	2452	2716,7 (1)	—265	—0,010
2	0,0030	0,376	63536	522519	1630	1792,0	— 58	—0,032
3	0,0040	0,670	49953	415609	1221	1192,0	+ 89	+0,083
4	0,0048	0,926	38904	323681	999	883,0	+116	+0,131
5	0,0055	1,173	28625	238160	734	698,0	+ 36	+0,052
6	0,0065	1,559	18039	150084	463	465,0	— 2	—0,004
						Écart moyen...		+0,040

(1) Cette pression est celle qui correspond au sommet de la courbe.

L'examen de ce tableau montre que, malgré les incertitudes que présentent nécessairement des constructions et des calculs faits d'après des planches lithographiées, qui n'ont pas même la précision des représentations graphiques originales, il y a un accord très-satisfaisant entre les résultats des observations directes des pressions et ceux qu'on déduit des tracés.

De l'ensemble de cette discussion des résultats obtenus par la Commission anglaise chargée d'étudier les effets des substances explosives, on peut conclure :

1° Que le chronoscope de M. le capitaine Noble ou d'autres appareils électriques analogues, qui utilisent les indications de l'étincelle d'induction, permettent de déterminer avec une précision suffisante pour l'étude des questions d'artillerie la loi du mouvement si rapide des projectiles dans l'âme des bouches à feu ;

2° Que l'appareil de compression muni de cylindres en cuivre, que l'action des gaz déforme plus ou moins, fournit sur l'intensité des pressions, développées en différents points de la longueur de l'âme, des indications qui permettent de comparer les effets des diverses variétés de poudre, et qui, dans leur ensemble, concordent avec les lois indiquées par Piobert ;

3° Que l'appareil analogue proposé, vers 1866, par M. Tresca, et dans lequel, au lieu des cylindres en cuivre, on emploie des cylindres en plomb que la pression des gaz oblige à s'écouler sous forme de jets coniques, dont la longueur est en rapport di-

rect et déterminé avec l'intensité maximum des pressions, donnerait des résultats bien plus précis encore, attendu que les jets de plomb atteignent des longueurs de plusieurs centimètres, ainsi que l'ont montré de premiers essais exécutés sous la direction de M. de Reffye ;

4° Que les méthodes graphiques indiquées plus haut permettent, par la quadrature des courbes des pressions et par la construction de la loi des vitesses du projectile, de vérifier *à posteriori* l'exactitude des indiçations fournies par les appareils, et montrent le degré de confiance qu'on doit accorder aux conséquences que l'on en déduit ;

5° Enfin, que les conséquences et les expériences qui y ont conduit ont, pour l'étude des nouvelles bouches à feu et des poudres qu'il convient d'y employer, une telle importance, que l'on doit vivement désirer que des recherches analogues soient exécutées le plus tôt possible par une nouvelle Commission des principes du tir, à laquelle le Gouvernement donnerait les moyens les plus larges d'exécution et toute la liberté d'action nécessaire pour conduire à bonne fin ces études délicates et difficiles.

Pour mettre le lecteur à même d'apprécier l'importance des résultats obtenus par la Commission anglaise et surtout l'utilité actuelle de semblables recherches, nous croyons convenable de reproduire *in extenso* les trois rapports sommaires dont il nous a été donné communication.

La connaissance de ces moyens est d'autant plus utile à propager en ce moment, qu'ils peuvent permettre d'apprécier, sûrement et promptement, les effets balistiques et surtout les effets destructeurs que les diverses poudres et le mode de chargement produisent dans les bouches à feu, sans exiger de longues et dispendieuses expériences comme celles que l'on était précédemment obligé de faire.

L'on ne doit pas enfin oublier qu'une pièce nouvelle de campagne ne peut être adoptée à moins qu'elle ne soit capable de fournir un tir de 1 500 à 2 000 coups avant d'être hors de service. Il ne faudrait pas faire courir de nouveau à l'artillerie, comme elle y a été exposée en 1859, le risque d'entrer en campagne avec des bouches à feu qui ne pourraient tirer plus de 300 et quelques coups.

RAPPORT PRÉLIMINAIRE DE LA COMMISSION

DES

SUBSTANCES EXPLOSIVES

TRADUIT DE L'ANGLAIS.

La Commission des substances explosives a l'honneur de présenter à l'examen du secrétaire d'État de la guerre le rapport préliminaire suivant :

Dans les instructions du bureau de la guerre, il était prescrit de continuer les recherches sur les diverses questions entamées par la Sous-Commission du dernier Comité spécial de l'artillerie.

Ces instructions appelaient spécialement l'attention de la Commission sur l'importance d'une prompte détermination de l'espèce de poudre, dont l'emploi en grandes charges, sans danger de destruction des bouches à feu, était désiré; et elle était invitée à faire connaître successivement les progrès des recherches sur ce côté de la question.

La Commission a, en conséquence, dirigé jusqu'ici exclusivement son attention sur cette partie du travail dont elle était chargée.

Elle estime que les expériences qui ont été poursuivies sur le canon de 8^{po}, mentionné dans les instructions du bureau de la guerre, sont suffisantes pour faire voir qu'il n'y a aucune difficulté à fabriquer une espèce de poudre mieux appropriée au tir des canons de gros calibre que la poudre de service actuelle.

Les principales variétés de poudre, qui ont été jusqu'ici l'objet

des recherches de la Commission, et qui ont été soumises à des expériences comparatives, sont les suivantes :

1° R. L. G. (Royale à gros grains). Poudre de service de Waltham Abbey et des fournisseurs.

2° L. G. (à gros grains). Poudre de service de Waltham Abbey et des fournisseurs.

3° Poudre Pellet, de la variété adoptée à titre provisoire.

4° Poudre russe, prismatique.

5° Poudre Ritter, prismatique.

6° Poudre prismatique de Spandau.

7° Poudre belge à gros grains.

8° Poudre espagnole, de deux variétés.

9° Poudre de la marine française, de deux variétés.

10° Poudre américaine, semblable à celle qui a été employée dans les expériences de Shoeburyness avec le canon de 15po de Rodman.

11° Dix espèces de poudre Pellet, de poussier pressé, dans la fabrication desquelles on a fait varier quelques détails.

12° Deux espèces de poudre Pellet, obtenues avec différentes variétés de poudre L. G. (à gros grains).

13° Treize espèces de poudre à gros grains, appelée Pebble, fabriquée à Waltham Abbey avec de la galette de presse.

14° Plusieurs échantillons de poudre Pellet, à petits et à gros grains, envoyés, pour essai, par MM. Curtis et Harvey.

15° A. 3. Poudre fabriquée à Waltham Abbey en 1860-61-62, et depuis ces époques conservée à Purtfleet.

Dans l'étude de l'action des espèces différentes de poudre, que l'on vient d'indiquer, la Commission a employé les moyens suivants :

A. — La détermination du temps employé par le projectile pour parcourir diverses longueurs de l'âme du canon.

B. — La mesure directe de la pression, à l'aide de l'appareil de Rodman, fixé à l'extérieur du canon, et communiquant avec l'interieur de l'âme au moyen d'un grain creux à vis.

C. — La mesure directe de la pression, au moyen d'une nouvelle forme d'appareil appelé compresseur, construit pour cet objet par la Commission

Afin d'apprécier l'influence des caractères chimiques et physiques des différentes espèces de poudre sur les résultats relatifs à la vitesse et à la pression, chacune des variétés a été l'objet d'analyses complètes et de la détermination de la densité avec le densimètre à mercure.

DESCRIPTION DES APPAREILS ET DES DISPOSITIONS PRISES.

Le chronoscope. — Le principe du mode d'action de cet appareil, imaginé par M. le capitaine Andrew Noble, de l'artillerie royale, consiste à enregistrer, au moyen de courants électriques et de l'étincelle d'induction[1], sur la surface d'un récepteur tournant à une vitesse uniforme et très-grande, l'instant précis où un projectile passe devant des points déterminés de l'âme.

Il comprend deux parties distinctes :

1° L'appareil mécanique, qui produit la vitesse nécessaire et la maintient uniforme.

2° L'appareil électrique enregistreur.

La première partie se compose d'une série de disques minces, en métal, A. A. (Pl. 75, fig. 1), ayant chacun 32po.a. (0m.80) de circonférence, fixés à distance les uns des autres, sur un arbre horizontal SS, qui est mis en mouvement à une grande vitesse par un poids moteur B, disposé conformément à la manière indiquée primitivement par Huyghens, au moyen d'un mécanisme qui multiplie la vitese de descente par 625. Le poids moteur B est, pendant l'expérience, continuellement remonté à l'aide de la manivelle H.

Si la vitesse nécessaire n'était obtenue que par la seule action du poids moteur, il faudrait, pour qu'elle fût atteinte, perdre un temps considérable. Pour obvier à cet inconvénient, on peut obtenir très-rapidement cette vitesse, au moyen de la manivelle C.

La marche précise des disques est constatée à l'aide d'un compteur, à arrêt D, qui peut, à volonté, être embrayé ou désembrayé avec l'arbre tournant E; et le temps employé pour un

1. On sait que plusieurs dispositifs, ayant le même objet et employant aussi l'étincelle d'induction ont été, il y a quelques années, proposés par divers officiers d'artillerie français. (*Traducteur.*)

nombre quelconque de révolutions de cet arbre peut être observé avec la précision d'un dixième de seconde [1].

La vitesse ordinairement obtenue en se servant de l'instrument, est d'environ 1000 po. ang. (25^m) linéaires, parcourus en 1" par la circonférence des disques, de sorte que chaque pouce ($0^m.025$), parcouru à cette vitesse, représente la millième partie d'une seconde; et, comme le pouce est subdivisé par un vernier V en mille parties, l'on obtient ainsi à la circonférence des intervalles de temps d'un millionième de seconde. Une légère variation dans la vitesse pouvant influencer le rapport des résultats obtenus, on constate, à chaque expérience, l'uniformité du mouvement de rotation, au moyen de trois observations faites, l'une immédiatement avant, la seconde, pendant, et la troisième immédiatement après l'expérience.

La moyenne des trois observations est prise pour la vitesse moyenne.

Avec un peu d'habitude, il est facile de disposer l'instrument de manière que les disques tournent, soit uniformément, soit dans un rapport croissant ou décroissant fort peu.

La manière d'opérer est la suivante : lorsque la vitesse voulue de rotation a été atteinte, le compteur à arrêt est embrayé avec l'arbre E, et le temps employé par la roue F à faire cinq tours, c'est-à-dire le temps employé par les disques à en faire 625 est noté.

Après que la roue F a fait une révolution, sans être embrayée avec le compteur, on observe de nouveau le temps nécessaire pour 625 tours; et, au milieu de la durée de cette observation, on tire la bouche à feu.

Lorsque la roue a, de nouveau, fait un tour, on note encore la durée de 625 révolutions et l'on arrête l'instrument.

L'on aura une idée du degré d'uniformité obtenue, quand l'appareil est en bon état de fonctionnement, par les observations des vitesses dans six décharges consécutives données ci-dessous :

1. Ce mécanisme est analogue à celui qui a été employé par la Commission des principes du tir de Metz vers 1834 et dont il existe un modèle au Conservatoire des Arts et Métiers, pour l'observation directe des lois de mouvement à l'aide de styles.

LECTURES SUR LE COMPTEUR.

Boulet N° 221.

	Durées observées pour 625 révolutions.
1re observation.	en 21″1
2e —	en 21″2
3e —	en 21″2

Boulet N° 222.

1re observation.	en 21″3
2e —	en 21″3
3e —	en 21″3

Boulet N° 223.

1re observation.	en 21″2
2e —	en 21″3
3e —	en 21″2

Boulet N° 224.

1re observation.	en 21″2
2e —	en 21′2
3e —	en 21″0

Boulet N° 225.

1re observation.	en 20″9
2e —	en 20″2
3e —	en 20″9

Boulet N° 226.

1re observation.	en 21″2
2e —	en 20″9
4e —	en 20″7

Cette conservation de la vitesse, avec un tel degré d'uniformité, est due à la perfection d'exécution de toutes les parties de l'appareil.

Les dispositions pour obtenir les indications électriques sont

les suivantes : les disques tournants reçoivent sur leur tranche une bande de papier blanc, et sont mis en communication avec un des fils secondaires G du courant d'induction. L'autre fil secondaire H, isolé avec soin, est en communication avec le déchargeur I, contre le côté opposé du disque correspondant, et fixé de manière à être exactement séparé de l'autre.

Quand une étincelle passe du déchargeur au disque, le papier, qui couvre cette partie du disque, est percé d'un petit trou à l'endroit qui se trouve à cet instant sous le passage de l'étincelle; mais comme la place où se trouve ce petit trou serait très-difficile à reconnaître, à cause de son extrême finesse, on couvre préalablement le papier d'une couche de noir de fumée, et alors la position du trou se détermine facilement, attendu que la couche de noir, déposée par la flamme employée, ayant été brûlée par l'étincelle, laisse voir un point blanc sur le papier qui est au-dessous.

La communication au premier fil du courant d'induction avec l'âme du canon, de manière que le projectile, passant en un point donné, coupe le courant primitif, et par suite produise une étincelle du courant secondaire, est disposée comme le fait voir la figure 2, qui représente des coupes longitudinales et transversales de l'âme B dans laquelle se meut le projectile.

Un bouchon (grain) creux C, fixé à vis dans le canon, porte à son extrémité, près de l'âme, un couteau ou interrupteur D, qui est légèrement en saillie dans cette âme. L'interrupteur est maintenu dans cette position par le fil du courant primitif, qui passe au travers du grain C d'un côté, puis par un trou de l'interrupteur D, et ensuite sort de l'autre côté de ce grain. Les deux extrémités de ce fil sont réunies aux fils principaux liés à l'appareil, quand les grains ont été placés dans le canon.

Lorsque le projectile est tiré, il pousse l'interrupteur dans la seconde position indiquée sur la figure en coupant ainsi le premier fil, et en obligeant l'étincelle d'induction à passer instantanément du déchargeur au disque, en laissant une trace de son passage, comme on vient de le dire. Pour éviter que l'interrupteur ne puisse être mû par les gaz qui pourraient s'échapper autour du projectile, une goupille de sûreté le maintient solidement en place; cette goupille de sûreté est coupée en même temps que le fil du courant primitif.

Le mode de lecture des résultats est le suivant :

Après qu'une expérience a été faite, et qu'une série d'étincelles a été reçue par les disques, la marque laissée sur celui qui porte le n° 1 est amenée, au moyen d'une vis micrométrique, précisément vis-à-vis de la pointe du déchargeur. Le vernier est ensuite solidement fixé à l'extrémité de l'arbre S et mis au zéro.

La marque de l'étincelle sur le disque n° 2 est alors amenée vis-à-vis de son déchargeur; la lecture est faite avec le vernier, et ainsi de suite avec les autres disques.

Il est évident que les résultats fournis par un appareil, établi pour mesurer les très-courts intervalles de temps exigés par les recherches que poursuit la Commission, ne pourraient être acceptés sans soulever des doutes sérieux, s'il n'y avait pas quelque moyen d'en contrôler l'exactitude. Aussi une des premières préoccupations fut-elle de disposer les choses de manière que l'exactitude de ces indications pût être, à tout instant, constatée avec facilité.

Chaque disque, chaque déchargeur et chaque courant d'induction forment, pour ainsi dire, un appareil indépendant pour recueillir la marque de l'étincelle, quand le fil du courant primitif est coupé, et il est évident que si l'on coupe simultanément l'ensemble des fils primitifs, les marques des étincelles sur tous les disques devront se trouver en ligne droite, et que leurs écarts d'une ligne droite ou de la simultanéité des indications donneront la mesure des erreurs de l'appareil.

L'on a éprouvé cependant de grandes difficultés à assurer l'interruption simultanée des courants primitifs, et le seul procédé tout à fait satisfaisant que l'on ait trouvé a été de les disposer tous sur un petit écran contre la bouche d'un fusil.

En tirant une balle à tête plate, l'ensemble de tous les fils a pu être alors coupé simultanément et a permis d'étudier l'effet de l'appareil.

Le tableau suivant fait connaître les résultats de six lectures consécutives faites sur l'instrument, lorsque les courants primitifs ont été coupés comme on vient de le dire, et l'on peut remarquer que les erreurs observées sont excessivement faibles.

Il est aussi plus que probable que, si petites que soient ces erreurs, elles peuvent être en grande partie attribuées à l'impos-

sibilité d'assurer, même avec une balle de fusil, la rupture instantanée de tous les courants des fils.

DATES DES OBSERVATIONS.

7 novembre 1869.

Disque	1	lecture	0.000000	secondes.
	2	—	0.000000	—
	3	—	0.000000	—
	4	—	0.000000	—
	5	—	0.000000	—
	6	—	0.000000	—

8 novembre 1869.

Disque	1	lecture	0.000001	secondes.
	2	—	0.000000	—
	3	—	0.000002	—
	4	—	0.000001	—
	5	—	0.000001	—
	6	—	0.000001	—

9 novembre 1869.

Disque	1	lecture	0.000006	secondes.
	2	—	0.000006	—
	3	—	0.000016	—
	4	—	0.000006	—
	5	—	0.000000	—
	6	—	0.000000	—

10 novembre 1869.

Disque	1	lecture	0.000003	secondes.
	2	—	0.000000	—
	3	—	0.000002	—
	4	—	0.000003	—
	5	—	0.000000	—
	6	—	0.000000	—

11 novembre 1869.

Disque	1	lecture	0.000015	secondes.
	2	—	0.000013	—
	3	—	0.000020	—
	4	—	0.000014	—
	5	—	0.000003	—
	6	—	0.000000	—

8 décembre 1869.

Disque	1	lecture	0.000000	secondes.
	2	—	0.000002	—
	3	—	0.000002	—
	4	—	0.000009	—
	5	—	»	—
	6	—	0.000000	—

DU CANON ET DES PROJECTILES.

La bouche à feu employée dans les expériences, dont on discute les résultats, était un canon de 8^{po} ($0^{m},203$) en fer forgé, se chargeant par la bouche, du poids de 6,5 tonnes (6600 kilog.), ayant une longueur d'âme de $12^{po},6$ ($3^{m},20$).

Il était percé en trois endroits de l'emplacement de la charge, pour recevoir soit des indicateurs de Rodman, soit des grains interrupteurs de courants. Ces ouvertures pouvaient être fermées avec des grains pleins. Les grains interrupteurs correspondant au chronoscope étaient au nombre de 14 et étaient disposés

dans leurs logements à des intervalles différents sur la longueur de l'âme, comme on le voit figure 3. Quand on ne les employait pas, leurs logements étaient remplis par des grains pleins. La disposition des interrupteurs a été décrite précédemment.

Avec une charge de 20^{lv} (9^{kil},068) de poudre, et un boulet de 15^{po} (0^{m},381) de longueur, le projectile, lorsqu'il était enfoncé à sa place, était rencontré par le grain n° 1, et quand on employait des charges de combat, il l'était par le grain n° 2 qui devenait alors le premier de la série.

L'on employait six interrupteurs à chaque observation; ceux de la culasse et ceux de la volée l'étaient alternativement. Les projectiles était des cylindres en fonte de 15$^{po.a}$ (0^{m},381) de longueur, de 180$^{lv.}$ (81$^{kil.}$612) de poids, de 7$^{pou.a}$995 (0$^{m.}$203) de diamètre, et 0$^{m.q}$0325 de section.

Le chargement du canon se faisait de la manière suivante :

La gargousse avait le diamètre exact de l'âme.

Elle était introduite dans la chambre et le projectile était poussé légèrement par dessus, jusqu'à ce qu'un arrêt placé sur le refouloir arrivât en contact avec la tranche de la volée, de sorte que la tête du projectile était ainsi amenée à la même position pour chaque coup et que la gargousse était toujours en contact avec la base du projectile.

Les poinçons de Rodman ou les grains interrupteurs étaient ensuite placés et vissés dans leurs logements.

Enfin les fils des interrupteurs étaient réunis aux fils principaux communiquant à l'appareil, et l'étoupille introduite dans son canal.

Après la décharge, la première opération consistait à laver le canon. Tous les grains étaient retirés, et leurs logements préparés pour un autre coup.

Les grains des poinçons de Rodman, ou des compresseurs, étaient poinçonnés au numéro du coup et les résultats enregistrés.

Appareil de Rodman pour la mesure des pressions.

Cet appareil est si connu, qu'il suffit d'en donner une très-courte description.

En chacun des points, où l'on veut déterminer la pression

exercée par une charge explosible, on perce un trou, et un tube (fig. 4) est introduit à vis dans le canon, son extrémité antérieure étant arasée avec l'âme.

L'autre extrémité est munie d'un piston dont le joint est rendu étanche au moyen d'une capsule obturatrice.

Le piston porte un couteau, sur lequel repose une pièce en cuivre qui est serrée solidement contre lui au moyen d'une vis. Quand on met le feu, la pression des gaz sur la base du piston comprime le couteau sur le cuivre, et l'empreinte produite donne une mesure de la pression exercée.

L'excessive variabilité des résultats obtenus à l'aide de cet appareil a conduit la Commission à rechercher une modification à l'aide de laquelle on a écarté quelques-unes des causes d'erreur de l'instrument de Rodman.

Appareil de compression.

Cet appareil a été exécuté à la fonderie royale de canons sur les indications de la Commission. Il consiste en un grain à vis (fig. 5), en acier, muni d'une base mobile, qui permet l'insertion d'un petit cylindre de cuivre rouge dans la chambre.

L'une des extrémités de ce cylindre est appuyée sur une petite enclume, tandis que l'autre est comprimée par un piston mobile qui est mis en contact intime avec le cylindre par un ressort.

Le cylindre est maintenu au centre de la chambre par un petit ressort de montre.

Les dispositions suivantes ont été prises pour se mettre à l'abri d'une fuite possible de gaz dans la chambre. La tête du piston est cannelée ainsi que le corps de l'enclume, et quatre petits canaux communiquent avec une lumière principale, passant à travers la partie supérieure du grain. Un obturateur du gaz est introduit à l'extrémité inférieure du grain.

L'appareil fonctionne de la manière suivante :

A l'explosion de la charge, le gaz, agissant sur la surface du piston, comprime le cylindre de cuivre contre l'enclume. Le degré de compression que supporte le cuivre donne l'indication de la pression exercée. La section transversale qu'on a trouvé le plus convenable de donner au cylindre pour le canon de 8^{po}

(0^m,203), a été de $\frac{1}{12}$ de pouce carré ($0^{c.q}$538), tandis que celle du piston était de $\frac{1}{6}$ de pouce carré ($1^{c.q}$075).

Une série d'observations ayant été faites avec un appareil de tare, la pression nécessaire pour produire un degré déterminé de compression sur des cylindres de cuivre semblables à ceux de l'appareil, le tableau des résultats a fourni un moyen de comparaison entre le degré de compression produit dans l'instrument, à l'aide duquel on a obtenu une indication directe de la pression dans la partie de l'âme, où le grain était placé.

La Commission a trouvé que l'on pouvait avoir beaucoup plus de confiance dans les résultats fournis par cet appareil, que dans ceux que l'on obtient avec celui de Rodman, par les raisons suivantes :

La forme et la dimension du dé en cuivre, et du ciseau de Rodman, obligent à les placer à l'extrémité supérieure du grain, et, par conséquent, à l'extérieur de la bouche à feu. Les gaz ont, par suite, un espace considérable à parcourir entre l'âme et l'instrument, et alors, avant d'atteindre celui-ci, ils ont acquis un haut degré de force vive, surtout avec les poudres à combustion rapide. Cette force vive est transmise au ciseau, et les pressions que l'on conclut sont par conséquent beaucoup plus grandes qu'il ne convient. C'est ce qui a été nettement établi en plaçant un cylindre en cuivre dans l'appareil de Rodman, et en comparant les compressions qu'il éprouvait avec celles que subissait un semblable cylindre dans l'appareil de compression.

Lorsqu'on a employé de la poudre R.L.G. (royale à gros grain), le cylindre intérieur était réduit de 0,500 de pouce (0^m·0127) à 0,285 de pouce (0^m·0072). La surface sur laquelle les gaz agissaient étant de 0.167 de pouce carré ($1^{c.q}$077), la pression correspondante était de 22,5 tonnes par pouce carré ou $3543^{kil.}$ par centimètre carré.

D'une autre part, le cylindre placé à l'extérieur était réduit de 0,500 de pouce (0^m·127) à 0,151 de pouce (0^m·0064) et le gaz agissant sur une surface de 0.110 de pouce carré ($0^{c.q}$7095), la

pression correspondante était de 40 tonnes par pouce quarré ou 6298$^{kil.}$ par centimètre carré.

Les circonstances précédentes, qui s'opposent à ce qu'on obtienne des indications exactes de la pression, ne se présentent pas avec l'appareil de compression, attendu que les petites dimensions en diamètre de ses parties principales permettent de les placer près de la surface de l'âme.

Un autre avantage de ces faibles dimensions est d'assurer une plus grande uniformité dans la qualité du métal sur lequel la pression est mesurée, attendu que, dans une même quantité de métal, de nature identique, on peut obtenir un bien plus grand nombre de cylindres pour le compresseur que pour l'appareil de Rodman.

Poudres comparées.

Parmi les diverses qualités de poudres, qui ont été éprouvées jusqu'à ce jour, quatre ont été choisies pour faire l'objet de ce rapport préliminaire, comme fournissant d'utiles indications des différents résultats obtenus avec les charges de combat des diverses espèces de poudre. Ce sont :

1° La poudre de service R. L. G. (royale à gros grains), dont les grains ont de 6$^{mill.}$ 35 à 3$^{mill.}$ 17 de grosseur.

2° La poudre Pellet, de service.

3° La poudre russe, prismatique.

4° La poudre Pebble, n° 5 (dont les grains ont de 15$^{mill.}$ 85 à 12$^{mill.}$ 70 de grosseur, et sont cubiques).

Les temps de parcours de l'âme, les vitesses et les pressions fournis par ces poudres sont représentés graphiquement figures

1. Extrait du Manuel pour la fabrication et les épreuves de poudre de guerre, Handbook of the manufacture and proof of Gunpowder by capitaine Schmith, R. A., décembre 1870, page 58. — Il y a quelques années la poudre à canon de service était celle connue sous la désignation L G (poudre à gros grains), dont les grains avaient de 1/8 de pouce (3^{mill}.12) à 1/16 de pouce (1^{mill}.56) de grosseur et étaient relativement très-petits.

La poudre à mousquet ou F. G. (poudre à grains fins) avait de 1/16 de pouce (1^{mill}.56) à 1/32 de pouce (0^{mill}.78) de grosseur. Cette poudre était faite avec du charbon d'aulne et de saule, et pouvait par conséquent être obtenue avec les

7, 8 et 9, et l'on en a déduit les nombres inscrits dans les tableaux suivants :

Premier tableau indiquant la vitesse et la pression maximum produite par quatre espèces différentes de poudre tirées avec un boulet de 180lv. (81k,612) *dans le canon de* 8po (0m,203), *n°* 288.

Espèce de poudre.	Densité.	Charge.		Vitesse initiale.		Pression maximum.	
		lv.	kilog.	pieds.	mètres.	ton.	kil. par c.q.
R. L. G. de 6mill.3 à 3mill.15.	1.67	30	13.602	1324	403.82	29.8	4693
Russe prismatique.........		32	14.509	1366	416.63	20.5	3229
Pellet de service..........		30	13.602	1338	408.09	17.4	2740
Pebble n° 5, de 15mill.9 à 12mill.7..............		35	15.869	1374	419.07	15.4	2425

De l'examen du tableau précédent et des représentations graphiques, on tire les conclusions suivantes :

A. — La poudre R. L. G. (royale à gros grains) de service tirée dans un canon du calibre de 8po. (0m·203), avec une charge de 30lv. (13kil·602, et le poids du projectile étant de 180lv. (81kil·612), communique une vitesse de 1324 pieds (403m·82) après un parcours de 99pou. (2m·515) dans l'âme, ce qui correspond à la vitesse initiale à la bouche dans le canon de service du même calibre, et exerce une pression de 29ton·8 par pouce carré (indiquée par l'appareil) ou de 4693 kilog. par centimètre carré.

L'exemple représenté sur la figure correspond à une poudre

mêmes galettes de presse que la poudre L. G. et en même temps, puisque son grain était du numéro immédiatement inférieur.

Mais la poudre L. G. a été remplacée par la poudre R. L. G. d'un grain beaucoup plus gros, 1/4 de pouce (6mill.3) à 1/8 (3mill.12), et la poudre à mousquet est maintenant fabriquée avec du charbon de bois de bourdaine.

Des expériences récentes ont montré d'une manière concluante que la poudre R. L. G. est d'un grain trop fin pour être employée en grandes charges, et qu'il est nécessaire de se servir d'une poudre, d'un grain beaucoup plus gros, connue sous le nom de poudre Pebble, de 5/8 de pouce (15mill.9 à 1/2 pouce (12mill.7) de grosseur.

d'une densité de 1,67. La Commission a cependant reconnu que les poudres de service R.L.G. et L.G., actuellement en magasin offrent de très-grands défauts d'uniformité, ainsi que cela est manifesté par la différence de la densité qui varie de 1,60 à 1,78.

Une poudre d'une densité de 1,745 a été aussi éprouvée. Avec la charge de 30lv. (13kil.602), elle a donné une vitesse de 1350 pieds (411m.75), et indiqué une pression maximum de 23 tonnes par pouce carré en 3622k. par centimètre carré.

B. — Dans les conditions indiquées ci-dessus, la poudre Pellet de service avec une charge de 30lv. donne une vitesse de 1338 pieds (408m.09) et indique une pression maximum de 17ton.4 par pouce carré, ou 2740kil. par centimètre carré.

C. — La poudre russe prismatique avec une charge de 32lv. (14kil.509), donne une vitesse de 1366 pieds (416m.63) et une pression maximum de 20ton.5 par pouce quarré ou 3228kil. par centimètre carré.

D. — La poudre Pebble de Waltham, n° 5, avec 35lv. (15kil.869) de charge donne une vitesse de 1374 pieds (419m.07) et une pression maximum de 15ton.4 par pouce quarré, ou 2325kil. par centimètre quarré.

L'on voit, par les résultats qui précèdent, que, dans les canons du calibre de 8po. (0m.203), l'on obtient, par l'emploi de la poudre Pellet et de la poudre Pebble, avec les charges de combat, une diminution considérable de la pression, sans aucune diminution de la vitesse initiale. La Commission pense que les résultats obtenus avec ce canon justifient complétement l'espoir que l'on obtiendra une réduction importante des pressions dans les bouches à feu de plus gros calibres, en se servant de l'une ou de l'autre de ces poudres, quoique, en l'absence d'expériences directes, elle ne puisse encore compter sur un résultat certain.

Les expériences antérieures entreprises par la Commission, dans lesquelles des charges de 20lv. (9k.06) de poudre avaient été employées dans un canon de 8po. (0m.203) en bronze, avaient montré que la pression exercée par la poudre russe prismatique

était notablement plus faible que celles que produisaient les autres poudres à cette époque. L'on voit cependant, par les chiffres du 1er tableau, que cette diminution de la pression ne s'est pas maintenue quand on s'est servi des charges de combat avec cette poudre.

Afin de déterminer la vitesse initiale fournie par la poudre Pebble, comparativement avec celle que donne la poudre R.L.G. (royale à gros grains) dans un canon de 10po. (0m.254), l'on a profité avec avantage de l'épreuve d'un canon de ce calibre en cours d'exécution pour les expériences de la Commission d'après les ordres du ministre, en tirant quelques projectiles d'épreuve de 400lv. (181kil.36) avec différentes sortes de poudre. Les résultats obtenus sont les suivants :

Nos des coups.	Espèce de poudre. Poids du projectile 400lv. (181k.36).	Charges. en livres.	Charges. en kilog.	Vitesses observées à 40 yards. en pieds.	Vitesses observées à 40 yards. en mètres.
		lv.	k.		m.
1	R. L. G.	60	27.204	1287	392.53
2	R. L. G.	60	27.204	1301	396.80
3	Pebble n° 3, densité 1.84	70	31.738	1288	392.84
4	Pebble n° 3, densité 1.84	70	31.738	1271	387.65
5	Pebble n° 5, densité 1.78 Pebble n° 7, densité 1.81	70	31.738	1425	431.62

Ces résultats, quoique peu nombreux, suffisent pour montrer que la poudre Pebble, d'une densité de 1,84, donnera la même vitesse que la poudre R. L. G., pourvu que la charge soit portée de 60 à 70lv. (27kil.204 à 31kil.738); mais que l'on obtient une vitesse beaucoup plus grande avec la même charge de poudre Pebble ayant une densité de 1,80. Il n'est donc pas nécessaire d'augmenter la charge de 10lv. (4kil.534), pour obtenir avec la poudre Pebble, d'une densité de 1,80, une vitesse égale à celle que fournit la poudre R. L. G.

Un examen attentif des résultats obtenus avec l'espèce de poudre nommée Pebble, et cette considération, que la production de cette poudre n'exige que peu de modifications dans le mode actuel de fabrication, ont conduit la Commission à décider qu'elle se regardait comme fondée à recommander l'adoption provisoire d'une poudre Pebble, en quantité suffisante pour assu-

rer, en ce moment, l'approvisionnement de tous les canons de gros calibre de 7po. (0m.178) et au-dessus, conformément aux indications suivantes :

« La poudre devra avoir la densité de 1,80 (la tolérance de la » fabrication étant de 1,78 à 1,82) et sera produite en brisant la » galette de presse de cette densité en fragments qui seront rete- » nus sur des cribles ayant des trous de $\frac{5}{8}$ à $\frac{4}{8}$ de pouce (16mill. à » 13mill.); les fragments seront ensuite soumis au travail ordi- » naire (sans doute un lissage)[1]. »

Quoique le canon du plus fort calibre employé par la Commission dans ses expériences ait été celui de 8po., tiré aux charges de 30 et 35lv. (13kil.602 à 15kil.849), avec un projectile de 180lr (81kil.612), elle est restée convaincue qu'une poudre de la qualité indiquée ci-dessus peut être employée avec les plus gros calibres, avec la pleine certitude d'obtenir une vitesse initiale égale à celle que produit la poudre de service actuelle, et de réduire notablement l'effort produit dans les premiers instants de l'explosion, en prolongeant ainsi la durée de la bouche à feu, et en diminuant les chances d'accident.

Outre les avantages qui précèdent, il semble également que la diminution dans la violence de l'explosion, par l'emploi d'une poudre de ce genre, atténuerait les chances de rupture des projectiles dans l'âme et modifierait l'action corrosive du gaz sur la surface intérieure de l'âme.

La Commission pense que, en prévision de l'introduction provisoire de la poudre Pebble, il convient de s'occuper de fixer les charges de cette poudre nécessaires pour obtenir des vitesses égales aux vitesses normales des différents canons de gros calibres.

La Commission a déjà fait connaître que l'usage de la poudre que l'on propose maintenant n'entraînerait aucune modification dans les modèles des coffres métalliques.

En se bornant à recommander que les charges pour les canons de gros calibres soient perfectionnées de manière à produire des vitesses égales à celles qu'on obtient avec la poudre R. L. G., la

1. Les poudres ordinaires des pilons ont une densité de 1,550 à 1.600 prise au mercure.

Commission croit convenable de faire remarquer, en outre, que, par suite de la pression maximum obtenue par l'emploi de la poudre Pebble ou par toute autre poudre analogue, qui pourrait être ultérieurement adoptée, il est probable que l'on obtiendrait un autre avantage : celui d'atteindre, avec une grande augmentation de sécurité, un accroissement considérable de vitesse avec les gros calibres, d'où résulterait une augmentation réelle de la puissance de notre armement.

Il y a lieu d'espérer que des renseignements positifs et concluants sur cet objet important seront fournis par les expériences sur le canon de 10$^{po.}$ ($0^{m.}254$).

Un rapport complet contenant les détails des expériences faites avec le canon de 8$^{po.}$ ($0^{m.}203$) se prépare en ce moment, et sera soumis aussi prochainement que le permettra le travail considérable qu'exige la préparation de tableaux volumineux.

A ce rapport sont joints les dessins :

a. Du chronoscope, du canon, des grains, fig. 1, 2, 3.

b. De l'appareil de Rodman, fig. 4.

c. De l'appareil d'écrasement, fig. 5.

d. Des diagrammes représentant les courbes des pressions, des vitesses, fig. 7, 8 et 9.

e. Des dés en cuivre de l'appareil Rodman, fig. 4, montrant l'impression produite par le ciseau avec la poudre R.L.G. et avec la poudre Pebble.

f. Des échantillons des cylindres en cuivre, montrant l'effet d'écrasement produit par la poudre R.L.G. comparé à ceux de la poudre Pebble, fig. 6.

E. W. JUNGHUSBAND,

Colonel de l'artillerie royale, Président de la commission des substances explosives.

12 *juillet* 1870. — Suite des expériences de la Commission des substances explosibles, depuis le rapport préliminaire soumis au secrétaire d'État de la guerre en 1870.

Canon de 10po. (0m.254).

Les expériences exécutées par la Commission, depuis l'époque indiquée, ont eu principalement pour objet l'observation des effets des diverses espèces de poudre, tirées dans un canon de 10po. (0m,254), faites en suivant la même marche que dans les expériences décrites dans le rapport préliminaire.

Un chronoscope, avec huit disques, a été mis en usage au lieu de celui qui avait six disques, et les observations de la vitesse à l'extérieur de la volée ont été faites avec l'appareil Navez-Leurs. La Commission a, par conséquent, obtenu pour chacun des coups tirés avec le canon de 10po. (0m.254) trois séries différentes d'indications des effets de la poudre, savoir :

1° Le temps employé par le boulet à parcourir huit intervalles donnés dans l'âme, au moyen des huit disques tournants du chronoscope du capitaine A. Noble.

2° La vitesse à la sortie de l'âme, à une distance de 50 yards (45m.70) de la volée, à l'aide du chronoscope Navez-Leurs.

3° La pression exercée par les gaz en différents points de l'âme, ordinairement au nombre de cinq, indiquée par les appareils de compression décrits dans le rapport préliminaire.

Les pressions ont été aussi calculées, comme précédemment, d'après les variations du mouvement indiquées par le chronoscope Noble, et l'on a eu la satisfaction de reconnaître que toutes les observations des pressions et des vitesses, ainsi faites avec des appareils indépendants, ont été corroborées et confirmées les unes par les autres, avec un degré remarquable d'exactitude, à l'exception de certaines différences dans les pressions, spécialement relatives aux poudres à combustion rapide, et que la Commission pense pouvoir expliquer plus tard, dans son rapport détaillé.

Dans quelques cas, les cylindres en cuivre, qui avaient été comprimés dans l'appareil par un coup précédent, ont été employés une seconde fois pour reconnaître s'ils éprouveraient une nouvelle déformation et constater ainsi si l'explosion de la charge agissait comme un choc dans l'âme du canon.

La nécessité d'obtenir des données à ce point de vue avait été formellement signalée par le surintendant des poudreries royales.

Les expériences ont été répétées dix fois : dans quatre de ces expériences, la vitesse a été plus grande dans le second cas, et un léger accroissement de compression a été constaté; dans trois des six autres cas, il ne s'est produit aucun changement, et dans deux des autres, il ne s'est manifesté qu'une légère modification.

Le seul cas où le cylindre ait été nettement plus comprimé, sans que la vitesse fût accrue, a été observé en employant la poudre R. L. G., la plus vive de celles essayées, et alors le projectile avait un vent notable.

La Commission a, jusqu'à ce jour, tiré 97 coups avec le canon de 10po. (0m.254), et des projectiles de 400lr. (181k.6), en employant des charges variant de 60lr. (27k.24) à 70lr. (31k.78) de poudres d'espèce de densité variables.

POUDRES.	CHARGES.	NOMBRE DE COUPS.
R. L. G....................	60lr.	28
Pellet......................	64 à 70	20
Russe prismatique.............	61 à 68	7
Ritter prismatique.............	61 à 70	7
Pebble......................	70	33
	60	2
	Total........	97

Les résultats les plus favorables sont ceux qu'a fournis la poudre Pebble, ayant une densité de 1,732 et un grain uniforme. 70lr. (31k.78) de cette poudre impriment au projectile une vitesse qui surpasse de 150pi. (45m.75) par seconde la vitesse moyenne obtenue avec 60lr. (27k.24) de poudre R. L. G., tandis que la pression maximum, indiquée par l'appareil compresseur, était seulement des 3/5 ou 0,60 aussi grande. Un seul coup tiré avec cette poudre à la charge de 60lr. (27k.24) a donné 40pieds (12m.20) de plus de vitesse que 60lr. (27k.24) de poudre R. L. G. avec 2/5 ou 0.40 de la pression indiquée par le compresseur pour cette dernière.

Tir d'un canon de 10$^{po. ang.}$ (0^{m}.254) à âme lisse avec des projectiles de 400$^{liv. ang.}$ (181^{kil}.6).

POUDRES EMPLOYÉES.	DENSITÉS.	CHARGES.		VITESSES EN 1".		PRESSIONS.		OBSERVATIONS.
		livres.	kilog.	pieds.	mètres.	ton. po.	kil. c.q.	
R. L. G.	1.742	lb. 60	kil. 27.20	1318	402	51	8032	Pour des projectiles de 10^{po} ou de 181^{k}.6
	1.733	60	27.20	1321	403	48	7559	
	1.670	60	27.20	1313	400	53	8347	
Pellet.	1.677	64	29.1	1364	416	25	3937	
Russe prismatique......	1.660	61	27.7	1335	407	19	2992	
		68	30.8	1425	435	29	4567	Un coup.
Ritter prismatique.	1.660	61	27.7	1349	411	21.5	3386	
		70	1.7	1416	432	24	3780	Un coup.
Pebble.	1.732	70	31.7	1474	449	29	4567	Grain uniforme.
	1.782	70	31.7	1432	437	21	3307	
	1.732	60	27.2	1359	414	21	3307	Un coup.
	1.782	60	27.2	1298	396	15	2362	Un coup.

Les principaux résultats moyens de plusieurs séries de six coups chacun sont relatés dans le tableau précédent, et les pressions les plus fortes mesurées par le compresseur y sont indiquées.

Tous les appareils d'observation, employés avec ce canon, ont fonctionné d'une manière satisfaisante, et sont encore en bon état. La Commission espère terminer bientôt les expériences qu'elle juge utile de faire sur ce canon, ayant encore son âme lisse et plus tard, quand il aura été rayé, pour d'autres recherches ultérieures.

1er *janvier* 1871. — Suite des rapports de la Commission des substances explosibles.

Canon d'expériences, à âme lisse, du calibre de 10po.ang. (0m,254). — Avant de rayer l'âme de ce canon, on a tiré 117 coups d'expérimentation. Les résultats de 97 de ces coups sont mentionnés dans le mémorandum du 7 juillet 1870; les 20 autres sont relatifs aux poudres L.G. (à gros grains) Pebble et Pellet, savoir :

6 coups avec la poudre L. G., charge : 60lv.
6 coups avec la poudre Pebble, charge : 70lv.
6 coups avec la poudre Pellet, charge : 64lv.
2 coups avec la poudre Pellet sphérique, charge : 64 et 70lv.

La poudre L.G. a été tirée pour comparer ses effets à ceux de la poudre R.L.G. Des essais semblables ont été faits avec le canon de 8po.ang. (0m,203) et le détail des résultats est donné plus loin.

Dans le canon de 10po.ang. (0m.254), la moyenne des vitesses obtenues avec la poudre L. G. a été d'environ 50pi. (15m.25) moindre qu'avec la poudre R.L.G.

Les pressions maximum moyennes ont aussi été moindres; mais les pressions diverses, observées à l'aide du compresseur, ont été parfois aussi élevées que celles qui étaient produites par la poudre R. L. G. La pression sur le compresseur placé en

A (à la culasse), ayant varié de 46$^{ton.}$ (7244$^{k.cq.}$) à 5$^{ton.}$5 (8583$^{k.cq.}$) par pouce carré.

La poudre Pellet a été trouvée inférieure à la poudre Pebble, les pressions étant aussi élevées, tandis que les vitesses en 1″ ont été d'environ 50$^{pi.}$ (15^{m}.24) moindres.

Les résultats moyens de 20 coups indiqués plus haut sont les suivants :

Tir d'un canon de 10$^{po.}$ (0^{m},254) à âme lisse.

POUDRES et charges employées.		Densité.	Nombre de coups.	Vitesses à la volée.		Pressions indiquées par le compresseur.					
						en A.		en B.		en C.	
	Charges.			Pieds.	Mètres.	ton. po.	kil. c.q.	ton. po.	kil. c.q.	ton. po.	kil. c.q.
						ton.		ton.		ton.	
L. G....	60$^{lv.}$	1.648	6	1273	388	49.00	7717	28.00	4410	29 00	4567
Pebble...	70	1.751	6	1435	438	22.00	3465	22.00	3465	23.00	3622
Pellet...	64	1.696	3	1377	420	21.50	3386	21.00	3307	21.00	3307
		1.626	3	1384	422	24.25	3819	23.00	3622	24.00	3780
Pellet sphérique.	64	1.677	1	1352	412	20.00	3150	15.50	2441	21.00	3307
	70	1.667	1	1380	421	22.50	3543	26.50	4173	28.00	4410

La Commission profite de l'occasion, pour appeler l'attention sur l'élévation considérable de la pression observée au point A (à l'axe de la culasse) par les poudres à combustion rapide, telles que L. G. et R. L. G.

Ces indices d'une action violente sont probablement dus, en grande partie, à la forme conique de la chambre.

On se rappelle de nombreux exemples, dans lesquels le métal de l'âme ou du tube a été graduellement attaqué aux points auxquels correspond l'appareil de compression A, c'est-à-dire au centre de l'âme.

1° Dans les expériences de tir prolongé de 1867 sur un canon de 9$^{po.}$ (0^{m}.228) M. L. R. de 12 tonnes (12187$^{k.}$), un trou d'environ 3$^{po.}$ (76$^{mill.}$) s'était produit à l'extrémité du tube d'acier du canon n° 330 après 500 coups. Cet effet fut attribué par le directeur de la fonderie royale à la forme conique de la chambre.

2° Une large cavité de plus de 2$^{po.}$ (50$^{mill.}$) de profondeur s'était produite au fond de l'âme d'un canon en expérience de 9$^{po.}$

(0m.228), n° 331, pendant les expériences précédentes, après 500 coups.

3° Dans les expériences de tir prolongé sur le canon de 6po.5 (0m.165), ayant une âme en fer forgé, on observa une large cavité au fond de l'âme après 60 coups.

Après 100 coups, cette cavité avait 2li (4mill.2) sur 1li5 et 2li. 75mill.2 de profondeur, avec des fissures partant de ses bords.

4° Dans les expériences faites en 1864 sur les canons en fer forgé M. L. R., rayés de diverses manières, trois de ces canons furent notablement dégradés, leur tubes en acier ayant été rongés au fond de l'âme.

5° Dans les expériences de 1865 sur le canon de 7po (0m.178) M. L. R., un trou de 2po.5 (0m.062) de profondeur avait été formé dans la partie solide du fond du tube d'acier, et avait fait mettre ce canon hors service.

6° Plusieurs mortiers en fonte ont été aussi mis hors de service par des trous formés de la même manière, dans le fond de la chambre, et il y a de nombreux exemples de mortiers, qui ont été brisés ou ont éclaté par cette cause.

Le canon d'expérience de 10po. (0m.254) est à chambre, comme le canon de service de la marine M.L.R. de 10 po. (0m.254).

Le canon d'expérience de 8po. (0m.203), n'a pas de chambre, et les pressions observées en A, dans ce canon, ne sont pas relativement aussi élevées que celles qui ont eu lieu au même endroit dans le canon de 10po. (0m.254).

En résumé, la Commission est disposée à croire que la pression en A a une intensité locale, et ne représente pas la pression réelle ou moyenne sur la surface entière du fond de l'âme.

Elle pense cependant que les pressions observées en B et en C donnent une mesure très-exacte de la pression dans l'emplacement de la charge.

Dans le tir des charges de combat, avec la poudre Pebble, dans les canons M.L.R., des calibres au-dessus et jusqu'à ceux de 12po. (0m.305) de 27 tonnes, cette action si intense en A disparaît et la pression dans tout l'emplacement de la charge semble être uniforme.

Les expériences faites avec le canon de 10po. (0m.254), avant qu'il n'ait été rayé, peuvent être récapitulées comme il suit, en y comprenant six coups, dont quatre avec la poudre Pebble et

deux avec la poudre R. L. G., tirés pour déterminer la vitesse initiale, avant que les ajutages à placer sur le canon ne fussent complétés.

POUDRES EMPLOYÉES.	CHARGES en		NOMBRE de COUPS.	POUDRE TOTALE.	
	livres.	kilogs.		en livres.	en kilogs.
R. L. G.	60	27.20	30	1800	815.4
L. G.	60	27.20	6	360	163.0
Pebble	70	31.70	43	3130	1417.8
	60	27.20	2		
Pellet	70	31.70	6	1829	828.5
	65	29.44	1		
	64	28.99	21		
Prismatique	70	31.7	1	870	394.1
	68	30.80	1		
	61	27.62	12		

B. — Canon d'expérience de 10po. (0.254) rayé.

En rayant ce canon, l'on a réduit le nombre de rayures à deux, pour éviter la rencontre des grains nombreux qui y étaient disposés. Le mouvement de rotation du projectile autour de son axe a, en conséquence, été produit par deux flancs conducteurs seulement, au lieu de sept; et il en est résulté que les rayures ont été exposées à être légèrement usées et rasées. Cet effet dépendait quelquefois de la charge, attendu que le vent était très-petit; mais on n'a éprouvé aucun autre inconvénient ni aucune difficulté en employant ces rayures.

29 coups ont été tirés avec le canon rayé, savoir : 17 avec la poudre R.L.G. à la charge de 60lv. (27k.20); 12 avec la poudre Pebble à la charge de 70lv. (31k.70).

Les vitesses moyennes et les pressions observées sont les suivantes :

POUDRES ET CHARGES EMPLOYÉES.		Densité.	Vitesses à la volée en 1″.		Pressions sur le compresseur.					
					en A.		en B.		en C.	
			pieds.	mètres.	ton. p.q	kil. c.q.	ton. p.q	kil. c q.	ton. p.q	kil. c.q.
R. L. G. 60lv.	Curtis et Harvey	1.675	1325	408	53.00	8426	32.00	5039	25.00	3937
	Waltham Abbey	1.724	1312	400	37.50	5906	30.50	4803	26.50	4171
	L. G. remaniée.......	1.743	1337	408	43.50	6851	29.50	4646	27.50	4331
Pebble. 70lv.	Waltham Abbey.	15-5-70	1423	434	21.75	3347	20.50	3228	20.50	3228
		15-10-70	1383	422	20.25	3189	20.00	3150	20.00	3150

Le tableau suivant contient les résultats de la comparaison des vitesses et des pressions avant et après le rayage des canons, et montre que les différences ne surpassent pas celles que l'on a observées dans les diverses séries, lorsqu'on s'est attaché à rendre les conditions identiques sous tous les rapports.

Comparaison des résultats du tir d'un canon de 10po. (0m.254) à âme lisse et à âme rayée.

POUDRES ET CHARGES EMPLOYÉES.		Ame	Vitesses à la volée en 1″.		Pressions sur le compresseur.					
					en A.		en B.		en C.	
			pieds.	mètres.	ton. po.	kil. c.q.	ton. po.	kil. c.q.	ton. po	kil. c.q.
R. L. G. charge 60lv.	Curtis et Harvey densité 1.675	lisse.	1322	404	53.00	8347	27.50	4331	26.00	4095
		rayée	1325	404	53.50	8426	32.00	5040	25.00	3937
	Waltham Abbey densité 1.724	lisse.	1330	406	48.00	7559	31.00	4882	25.00	3937
		rayée	1313	400	37.50	5906	30.50	4803	26.50	4173
Pebble-dates. charge 70lv.	16-5-70 Waltham Abbey.	lisse.	1443	440	21.00	3307	21.00	3307	20.00	3150
		rayée	1423	434	21.25	3347	20.50	3228	20.50	3228
	29-7-70 Waltham Abbey.	lisse.	1435	438	22.00	3465	22.00	3465	23.00	3620
	15-10-70 Waltham Abbey.	rayée	1383	422	20.00	3150	20.00	3150	20.00	3150

Le résultat général de ces observations met en évidence une légère diminution de la vitesse et de la pression comme résultat de la rayure. Ces résultats sont insuffisants pour servir de base à aucune conclusion générale; cependant ils semblent indiquer qu'il n'y a pas de différence importante entre les vitesses et les

pressions, soit qu'un canon ait été rayé ou que son âme soit restée lisse.

Canon d'expériences de 8po. (0m.203) *à âme lisse.*

59 coups ont été tirés avec le canon d'expériences depuis que le rapport préliminaire du 5 février 1870 a été rédigé; 22 le furent avec des charges de combat pour les épreuves des diverses sortes de poudre; 20 autres, faisant partie des expériences sur des projectiles de poids croissant, sont insérés dans le mémorandum du 7 juillet 1870; et, enfin, 15 ont été tirés avec un boulet de 69lv. et différentes espèces de poudre principalement en vue de déterminer l'intensité de la pression exercée dans des canons de 68, à âme lisse, avec des charges de combat des poudres L. G. et R. L. G. Deux des coups ont été tirés en blanc avec la charge de 30lv. (13k.602) de poudre R. L. G.; et les pressions observées en A, B et C, ont été de 15ton.75, 9ton.75 et 9ton. par pouce carré, ou 2475k. et 1415k. par centimètre carré.

La pression en A a été à peu près la même que celle qui avait été observée au même endroit en tirant dans un cylindre du poids de 170lv. (77k.01) avec 35lv. (15k.85) de poudre Pebble.

Les séries d'expériences faites avec des projectiles de poids croissant ne sont pas encore terminées; les essais faits avec le boulet de 69lv. ont donné les résultats suivants :

Tir d'un canon 8po. (0m.203) à âme lisse, avec boulet de 69lv. (31k.26).

POUDRES ET CHARGES EMPLOYÉES.		Densité.	Nombre de coups.	Vitesses à la volée en 1″.		Pressions sur le compresseur.					
						en A.		en B.		en C.	
				pieds.	mètres	ton. p. q	kil. c. q.	ton. p. q	kil. c. q.	ton. p. q	kil. c. q.
R. L. G. 16lv. ou 7k.25	Curtis et Harvey.	1.675	3	1705	520	19.00	2992	12.00	1839	24.00	3779
	Waltham Abbey...	1.732	3	1658	506	16.66	2624	11.00	2732	16.00	2520
L. G. 16lv. ou 7k.25	Curtis et Harvey. .	1.648	3	1686	514	15.00	2362	9.66	1521	17.66	2781
	Pigon et Wilks...	1.637	3	1679	512	12.00	1839	11.00	2732	17.66	2781
Pebble.	16lv. ou (7k.25)	1.78	1	1410	430	4.50	701	3.25	512	2.00	315
	18 (8k.15) Waltham Abbey.		1	1478	451	2.50	394	2.50	394	3.00	472
	20 (9k.66) 23-5-70		1	1547	472	3.00	472	5.00	787	2.50	394

La cartouche de 16^lr. (7^k.25) ayant seulement 12^po. (0^m.305) de longueur, le grain du compresseur était un peu en arrière du centre du boulet, mais à peu près à la position correspondant au minimum de vent. La pression sur ce compresseur a été plus grande que celle éprouvée par le compresseur A placé dans l'axe dans neuf coups sur douze, avec les poudres R. L. F. et L. G., et égale à celle-ci dans l'un des trois autres. Les deux poudres L. G. ont donné des pressions un peu inférieures à celles de la poudre R. L. G.

Dans les expériences sur les effets comparatifs des poudres L. G. et R. L. G., il est difficile d'obtenir des indications exactes de la différence qui peut provenir uniquement de la grosseur du grain, seule circonstance que l'on regarde comme susceptible de différencier la poudre R.L.G. de la poudre L.G., parce qu'elles diffèrent aussi généralement sous le rapport fort important de la densité, et accidentellement aussi sous ceux de la qualité du charbon et de la friabilité des grains.

A la fin de décembre 1870, la Commission a tiré 44 coups de poudres R.L.G. et L.G., préparées pour cette comparaison, savoir : 24 avec le canon de 10^po. (0^m.54) et des boulets de 400^lv. (181^k.4); 8 avec le canon de 8^po. (0^m.203) et des boulets de 180^lv. (81^k.54); et 12 avec le même canon et des boulets de 69^lr. (31^k.26). Les résultats ont été les suivants :

Canon de 10po. (0m.254) à âme lisse.

POUDRES ET CHARGES EMPLOYÉES.	NOMBRE de coups.	Vitesses à la volée en 1".		Pressions sur le compresseur.					
				en A.		en B.		en C.	
Boulet de 400lv.		pieds.	mètres.	ton. p.q.	kil. c.q.	ton. p.q.	kil. c.q.	ton. p.q.	kil. c.q.
Densité.									
R. L. G. 1.742. 60lv...	6	1327	405	51.00	8032	32.00	5039	26.00	4094
R. L. G. 1.733. 60 ..	6	1330	406	48.00	7559	31.00	4882	25.00	3937
R. L. G. 1.675. 60 ..	6	1322	403	53.00	8347	27.50	4331	26.00	4094
L. G.... 1.648. 60 ..	6	1273	388	49.00	7717	28.00	4410	31.00	4882

Canon de 8po. (0m.203) à âme lisse.

POUDRES ET CHARGES EMPLOYÉES.	NOMBRE de coups.	Vitesses à la volée en 1".		Pressions sur le compresseur.					
				en A.		en B.		en C.	
		pieds.	mètres.	ton. p.q.	kil. c.q.	ton. p.q.	kil. c.q.	ton. p.q.	kil. c.q.
Boulet de 180lv.									
R.L.G. densité 1.675 30lv.	4	1374	419	29.50	4488	24.75	3898	21.00	3307
L. G. densité 1.648 30	4	1319	402	28.00	4410	22.50	3544	20.50	3229
Boulet de 69lv..				19.00	2992	12.00	1890	24.00	3780
R.L.G. densité 1.675 16	3	1705	520	16.66	2624	11.00	1782	16.00	2520
R.L.G. densité 1.732 16	3	1658	506						
L. G. densité 1.648 16	3	1686	514	15.00	2362	9.66	1521	17.66	2783
L. G. densité 1.637 16	3	1679	512	12.00	1890	11.00	1732	17.66	2783

Le tableau précédent ne montre qu'un seul cas où il y ait eu une différence notable entre les pressions produites par les deux poudres, c'est celui de la première expérience faite avec le boulet de 69ll. (31k.26). La vitesse normale à la volée du canon de 68 en fonte avec la charge de 16lr. et le boulet de service (qui a un vent supérieur à celui qui existait dans ces expériences, et qui est un peu plus léger) est seulement de 1579 pieds (482m.) en 1''. Il paraît, en conséquence, évident qu'on ne devrait pas hésiter à employer, soit la poudre L. G., soit la poudre R. L. G. dans les canons de fer forgé, sans crainte de danger de détérioration; mais que la substitution sera suivie d'une diminution dans la vitesse initiale, dans la puissance et dans les effets balistiques.

Dans les expériences faites avec le canon de 8po.(0m.203), les cylindres en cuivre, au moyen desquels on mesurait la pression en avant de la gargousse, ont été accidentellement placés dans la même situation que les burins de l'appareil de Rodman, qui avaient été employés dans le même but, lors des premières expériences de la Commission, c'est-à-dire qu'ils étaient disposés à la surface extérieure du canon au lieu de l'être à la surface intérieure de l'âme.

Dans les cinq cas où il en a été ainsi, il est résulté de cette disposition une énorme augmentation de la compression, ainsi qu'on le verra nettement par le tableau suivant :

Les différences semblent plus grandes avec les poudres R.L.G. et L. G. qu'avec la poudre Pebble.

Ces résultats justifient complétement les observations faites à ce sujet dans le rapport préliminaire du 5 février 1870.

Expériences sur l'influence de l'emplacement du cylindre de cuivre du compresseur par rapport à l'âme.

POUDRES EMPLOYÉES.	Vitesses à la volée en 1''.		Pressions sur le compresseur.							
			en A.		en B.		en C.			
							Intérieur.		Extérieur.	
	pieds.	mètres.	ton. p.q.	kil. c.q.	ton. p.q.	kil. c.q.	ton. p.q.	kil. c.q.	ton. p.q.	kil. c.q.
Pebble	1507	460	15.50	2440	14.00	2205	16.00	2520		
	1508	460	15.00	2362	14.00	2205			27.00	4252
	1502	458	15.50	2440	14.50	2284	14.50	2284		
	1512	462	16.00	2520	15.50	2441			26.50	4153
R. L. G.	1371	410	29.50	4646	25.50	4016	20.00	3150		
	1371	418	30.00	4725	22.50	3544			57.00	3977
L. G.	1317	402	25.00	3937	18.00	2835			34.50	5433
	1325	404	36.50	5748	27.00	4252	21.50	3386		
	1314	401	31.50	4961	23.00	3622	19.50	3071		
	1320	403	30.50	4803	22.00	3465			45.50	7166

Canon rayé de 12^{po} ($0^{m}.305$) *de 25 tonnes.*

L'un de ces canons a été muni de deux grains avec compresseur, placés aux positions correspondantes à celles désignées par les lettres A et B dans les canons de $8^{po.}$ ($0^{m}.203$) et de $10^{po.}$ ($0^{m}.254$), savoir : A à travers la culasse dans le prolongement de l'axe de l'âme et B au travers des parois de la chambre à poudre, au milieu de la charge. 15 coups ont été tirés pour observer les pressions, savoir : 10 avec $85^{lv.}$ de poudre Pebble et 5 avec $67^{lv.}$ ($30^{k}.35$) de poudre R. L. G. Les vitesses moyennes et les pressions observées avec un boulet de $600^{lv.}$ ($271^{k}.8$) sont les suivantes :

Expériences comparatives sur les indications d'un compresseur placé à la base du projectile.

POUDRES ET CHARGES EMPLOYÉES.	Nombre de coups.	Vitesses à la volée en 1".		Pressions sur le compresseur.					
				en A.		en B.		à la base du boulet	
		pieds.	mètres	ton. p.q	kil.c.q.	ton.p.q	kil.c.q.	ton.p.q	kil.c.q.
R.L.G. $67^{lv.}$ ($30^{k}.35$)....	5	1168	356	21.90	3449	17.80	2803	19.00	2992
Pebble. 85 ($38^{k}.50$)....	10	1297	396	18.00	2835	16.80	2646	15.00	2362

L'on remarquera que la charge de combat de la poudre R. L. G. dans le canon ci-dessus est considérablement moindre que celle des autres canons lourds M. L. R. Cela est probablement la conséquence de la petitesse du rapport de la charge au poids du projectile et au calibre de la bouche à feu.

TIR PRATIQUE DES CANONS RAYÉS EN SERVICE.

Le tableau suivant donne un résumé des vitesses obtenues avec les poudres Pebble et R. L. G. dans les canons de service à Shœburyness. La vitesse initiale du canon en service de 10po. (0m.254) est seulement de 1364 pieds en 1" (416m.02), et celles qui ont été obtenues avec les deux variétés de poudre Pebble dans le canon rayé d'expériences, sont de 1383pi (421m.81) et de 1423pi. (434m.01). Cette différence peut être attribuée à ce que ce dernier canon avait seulement 0po.02 (0mill.51) de vent au lieu de 0po.08 (0mill.04) et deux rayures au lieu de sept, outre quelques autres différences dans l'état de l'âme. Dans la pratique avec un canon de 7po. (0m.178) l'on a trouvé une différence de 30pi. (9m.15) par seconde entre les vitesses fournies par un vieux canon, dont l'âme était dégradée et par un canon neuf, lorsque l'on employait la poudre Pebble, et une différence de 70pi. (21m.35) lorsqu'on se servait de la poudre R. L. G.

BOUCHES A FEU.	POUDRE PEBBLE. Charges. livres.	POUDRE PEBBLE. Charges. kilogr.	POUDRE PEBBLE. Vitesses à la volée en 1″. pieds.	POUDRE PEBBLE. Vitesses à la volée en 1″. mètres.	POUDRE R.L.G. Charges. livres.	POUDRE R.L.G. Charges. kilogr.	POUDRE R.L.G. Vitesses à la volée en 1″. pieds.	POUDRE R.L.G. Vitesses à la volée en 1″. mètres.	VITESSE NORMALE à la volée en 1″. pieds.	VITESSE NORMALE à la volée en 1″. mètres.
12^{po} M.L.R. de 25^{t} projectile 600^{lv}..	85	39.50	1300	396	67.00	30.30	1161	359	1180	364
	80	36.20	1255	383	»	»	1168	361		
	75	34.00	1285	392	»	»	»	»		
10^{po} M.L.R. de 18^{t} — 100 ..	70	31.75	1364	416	60	27.20	1280[1]	396	1298	401
9^{po} M.L.R. de 12^{t} — 250 ..	50	22.70	1420	433	43	19.50	1338	413	1336	413
	48	21.75	1386	423	»	»	1316	407		
	46	20.80	1362	415	»	»	1381[1]	427		
8^{po} M.L.R. de 9^{t} — 180 ..	35	15.85	1413	431	30	13.60	1330[1]	411	1368	423
	»	»	1384	422	»	»	1314	407		
	30	13.60	1364	416	»	»	»	»		
7^{po}. M.L.R. projectile 115^{lb}. de 7^{t}, long. d'âme 10^{pi}.6.	25	11.35	1465	447	»	»	»	»	1430	442
de 6,5 — 9^{pi}.3.	28	12.70	1447	441	22	9.98	1315	407		
	30	13.60	1493	455	»	»	1346[1]	422		
nouveau.................	30	13.60	1525	465	»	»	1435[1]	444		

1. Remaniée par Pigon et Wilks. L. G.

Projectiles garnis d'appareils compresseurs.

La Commission a commencé à exécuter des expériences avec des projectiles munis, au centre de leur base, d'appareils compresseurs, afin de reconnaître si la déformation d'un cylindre en cuivre, ainsi placé, pourrait indiquer, avec une exactitude suffisante, la pression exercée dans la chambre de la charge, de même qu'on l'obtenait avec les grains introduits dans l'âme, de façon qu'on pût prendre ces indications comme une mesure des pressions exercées par différentes charges.

Si ce moyen de mesurer les pressions était reconnu praticable, il fournirait un procédé applicable aux expériences sur les canons de tous calibres, sans recourir à des dispositions spéciales.

Les tableaux suivants font connaître les résultats ainsi obtenus avec des appareils compresseurs insérés dans les projectiles.

Expériences comparatives sur les indications d'un appareil compresseur placé à la base du projectile.

BOUCHES A FEU.	Vitesses à la volée en 1".		Pressions sur le compresseur.							
			en A.		en B.		en C.		Base du projectile.	
	pieds.	mètres.	ton. p.q.	kil. c.q.	ton. p.q.	kil. c.q.	ton. p.q.	kil. c.q.	ton. p.q.	c.q. kil.
Canon de 10po. (0m.254) Pellet 64lv.	1392	425	21.70	3418	21.40	3370	24.0	3874	22.0	3465
	1380	421	29.00	4567	21.7	3418	22.8	3591	22.0	3465
	1380	421	21.80	3433	19.8	3040	23.4	3685	18.5	2914
Pebble 85	1287	392	19.10	3008	18.2	2866	.	.	15.0	2362
12po. (0m.300) R.L.G. 67	1163	355	23.7	3733	17.9	2819	.	.	21.9	3440
	1152	351	.	.	15.8	2488	.	.	16.0	2520

La position du grain en C, dans le canon, correspond à celle du grain mis à la base du projectile.

Le tableau suivant contient les résultats obtenus avec des canons de $7^{po.}$ ($0^{m}.178$), $9^{po.}$ (0.229) et $12^{po.}$ (0.305) qui n'étaient pas munis de grains de compression; les projectiles seuls en avaient à leur base.

Expériences sur les indications d'un appareil compresseur placé à la base des projectiles de bouches à feu de divers calibres.

BOUCHES A FEU.	POUDRE PEBBLE.			
	Vitesse initiale en 1″.		Appareil compresseur du projectile.	
	pieds.	mètres.	ton. p.q.	kil. c.q.
12^{po}..............	1235	377	16.6	2614
9^{po}..............	1362	415	11.6 14.8	2827 2331
....	1420	433	11.2 10.3 10.9	1764 1622 1717
7^{po}..............	1525	465	10.6 10.4	1669 1638
BOUCHES A FEU.	**POUDRE R. L. G.**			
	Vitesse initiale en 1″.		Appareil compresseur du projectile.	
	pieds.	mètres.	ton. p.q.	kil. c.q.
12^{po}..............	1161	359	21.0	3307
9^{po}..............	1317	407	16.2 16.0	2709 2520
	1312	406	14.8	2331
	1381	427	18.7 19.6 21.1	2945 3087 3323
7^{po}........	1435	443	15.7 17.0	2473 2677

Expériences diverses.

Des obus à balles ont été tirés dans un canon rayé de 7^{po}. (0^{m}.178) pour reconnaître si la poudre au picrate est assez impressionnable pour qu'elle fasse explosion par le choc de la décharge. Aucune explosion de ce genre n'a eu lieu pendant vingt coups; l'on ne se propose pas d'entreprendre d'autres expériences pour constater les effets destructeurs de cette matière dans les conditions de service ordinaire.

Le coton-poudre de M. Punshon et la poudre de M. Hahn ont été tirés dans un fusil rayé de Martini-Henry et les résultats obtenus ont été comparés avec ceux que produisent les cartouches de poudre de service, tirées en même temps et dans les mêmes conditions.

Ces deux poudres ont été trouvées inférieures en portée et en régularité.

Les résultats moyens contatés ont été les suivants :

Cartouches de coton-poudre de Punshon comparées aux cartouches de service, portée 500 *yards* (457^{m}).

DÉSIGNATION.	DÉVIATION RADIALE MOYENNE.	
	Coton-poudre.	Poudre à mousquet.
1re série. 9 cartouches.............	4^{pi}.17	0^{pi}.44
2e série. 10 cartouches.............	2 .70	0 .47

Comparaison de la poudre de M. Hahn avec la poudre de service.

Charges.	POUDRE DE M. HAHN.				CARTOUCHES DE SERVICE.			
	Vitesses en 1" observées [1].		Écarts moyens.		Vitesses en 1" observées [1].		Écarts moyens.	
grains.	pieds.	mètres.	pieds.	mètres.	pieds.	mètres.	pieds.	mètres.
45	1060	323	17	5.18	1285	392	4	1.22
55	1082	330	13	3.96	1267	386	3	0.92
62	1072	327	27	8.23				
Déviation radiale moyenne sur la cible à 500 yards (457m).			2.06	0.63	»	»	0.78	0.24

1. A 82 pieds (25m.01) de la bouche.

E. W. JUNGHUSBAND,

Colonel de l'artillerie royale, Président de la commission des substances explosives.

ESSAIS DYNAMOMÉTRIQUES

SUR LES

MACHINES DE LA FILATURE DU LIN ET DES ÉTOUPES,

PAR M. LE Dr ERNEST HARTIG,

Professeur de mécanique technologique à l'École polytechnique de Dresde.

TRADUIT DE L'ALLEMAND

PAR M. ED. SIMON.

Les résultats obtenus par l'observation directe et par le calcul ont été consignés plus loin dans des tableaux analogues à ceux dressés en 1863 pour l'outillage de la laine[1]. On remarquera à la colonne *f* (travail moyen par heure) que les nombres représentent une fraction du travail total comprise entre 80 et 93 p. cent, tandis que les machines prises isolément pourraient être considérées comme réellement en marche. Plus le service manuel (enlèvement des bobines, graissage des broches, etc.) s'effectue rapidement, plus ces valeurs se rapprochent de l'unité, et si les chiffres cités pour *f* paraissent un peu faibles, c'est que, dans les deux établissements où les observations ont été relevées, le personnel ouvrier, hommes et femmes, laissait à désirer,

La multiplication des forces motrices de la colonne *i* par les coefficients *f* a donné les nombres inscrits en *m*, qui servent à déterminer la force totale nécessaire à un établissement complet. Les chiffres de la colonne *l* forment la base d'une étude critique sur l'utilisation de la force absorbée par les divers sys-

1. Voir le numéro 32 des *Annales du Conservatoire*, année 1870.

tèmes de machines, étude qui ne semble pas moins importante que l'examen comparé des moteurs, eu égard à leur effet utile.

Le relevé ci-après des valeurs moyennes, puisées dans les tableaux, indique combien, sous ce rapport, les machines du lin offrent d'écarts considérables :

Désignation des machines.	Effet utile.
Broyeuse à lin	0.42
Espadeuses.	0.55
Peigneuses	0.35
Étaleuses.	0.17
Premier étirage pour long brin. . . .	0.14
Deuxième —	0.13
Banc-à-broches. —	0.07
Métiers à filer —	0.32
Machine à battre les étoupes.	0.25
Carde à étoupes, système Dockrey. . .	0.17
Carde en gros pour étoupes.	0.26
— fin —	0.17
Premier étirage —	0.16
Deuxième — —	0.15
Banc-à-broches —	0.04
Métier à filer —	0.35
Scie circulaire.	0.89
Tour.	0.79
Machine à canneler.	0.17

Le banc-à-broches, si parfait à d'autres égards, occupe le dernier rang au point de vue économique qui nous occupe; la scie circulaire, placée au premier, n'est pas, à proprement parler, une machine de filature; les métiers à filer donnent un meilleur rendement kilogrammétrique que les étaleuses, les étirages et les bancs-à-broches, mais restent au-dessous des broyeuses, des espadeuses et des peigneuses.

Les chiffres suivants, extraits de la colonne *i* des tableaux, indiquent la dépense effective de force motrice nécessaire à chaque outil en charge.

Désignation des machines.	Force motrice en chevaux.
Broyeuse (système Guild)	0.55
Espadeuse, par croisillon	0.12
Peigneuse simple, par mordache	0.078
Peigneuse double, par mordache	0.042
Étaleuse, par appareil alimentaire ou toile sans fin.	0.17
Premier étirage pour long brin, par tête	0.29
Deuxième étirage pour long brin, par tête	0.25
Banc-à-broches pour long brin, par broche	0.031
Métier à filer pour long brin (n[os] 25-40), par broche.	0.022
Machine à battre les étoupes	3.00
Carde en gros pour étoupes	2.36
Carde en fin pour étoupes	1.92
Premier étirage pour étoupes, par tête	0.32
Deuxième étirage pour étoupes, par tête	0.25
Banc-à-broches pour étoupes, par broche	0.028
Métier à filer pour étoupes (n[os] 14-16), par broche.	0.028
Scie circulaire	1.70
Tour	0.85
Machine à canneler	1.00
Ventilateur héliçoïdal (pour l'atelier d'espadage)	0 75

Ces évaluations ne comprennent pas, d'une part, les arrêts normaux, de l'autre, la force absorbée par la transmission ; mais on peut admettre que ces deux causes, modifiant en sens inverse et d'une façon à peu près identique les données précitées, sont pratiquement négligeables.

Il résulte, en outre, de nombreux essais effectués sur les étaleuses, les étirages, les bancs-à-broches et les métiers à filer, que si l'on détermine la résistance totale de ces machines à la circonférence des cylindres antérieurs (front-rollers), ou si on la répartit entre les rubans, gills et broches pris isolément, on obtient des résultats concordants, ainsi que le montre l'état comparatif ci-après :

	DÉSIGNATION DES MACHINES.	Force motrice par ruban ou par broche ; en kilogrammètres par seconde.	Développement des cylindres antérieurs, en mètres.	Résistance à la circonférence des mêmes cylindres, en kilogrammes.
LONG BRIN.	Étaleuse de Lawson (n° 6 des essais)...	15.8	0.479	33.000
	— — (n° 7 —)...	15.2	0.422	36.000
	— Combe (n° 8 —)...	10.3	0.366	28.100
	— — (n° 9 —)...	10.4	0.366	28.400
	1er banc d'étirage de Lawson (n° 10)..	7.19	0.327	22.000
	— — — (n° 11)..	6.87	0.299	23.000
	— — Combe (n° 12)..	2.67	0.275	9.710
	— — — (n° 13)..	1.97	0.311	6 330
	2e banc d'étirage de Lawson (n° 14)..	4.50	0.299	15.100
	— — — (n° 15)..	3.00	0.249	12.000
	— — Combe (n° 16)..	1.69	0.291	5.810
	— — — (n° 17)..	1.94	0.291	6.670
	Banc à broches de Lawson (n° 18)....	2.76	0.323	8.540
	— — — (n° 19)....	2.85	0.311	9.160
	— — Combe (n° 20)....	1.89	0.254	7.440
	— — — (n° 21)....	1.71	0.280	6.110
	Métier à filer de Lawson (n° 24)......	0.900	0.099	9.090
	— — — (n° 25)......	0.804	0.105	7.660
	— — Combe (n° 26)......	2.070	0.132	15.700
ÉTOUPES.	1er banc d'étirage de Lawson (n° 37)..	5.62	0.228	24.600
	— — — (n° 38)..	3.88	0.228	17.000
	— — Combe (n° 39)..	6.17	0.311	19.800
	— — — (n° 40)..	3.58	0.328	10.900
	2e banc d'étirage de Lawson (n° 41)..	2.50	0.192	13.000
	— — — (n° 42)..	3.83	0.192	20.000
	— — Combe (n° 43)..	2.87	0.314	9.140
	— — — (n° 44)..	1.72	0.253	6.800
	Banc à broches de Lawson (n° 45)....	2.32	0.221	10.500
	— — Combe (n° 46)....	2.51	0.226	11.100
	— — — (n° 47)....	1.63	0.184	8.860
	Métier à filer de Lawson (n° 48)......	1.42	0.159	8.930
	— — — (n° 49)......	1.31	0.159	8.240
	— — Combe (n° 50)......	2.50	0.135	18.500

Les chiffres de la colonne *m* des tableaux permettent d'établir, pour chaque espèce de machines, la résistance *moyenne* à la circonférence des cylindres étireurs, en kilogrammes.

		Résistance moyenne à la circonférence des cylindres étireurs, en kilogrammes.
Long brin.	Étaleuse	31.40.
	Premier banc d'étirage	15.30.
	Deuxième banc d'étirage	9.87.
	Banc-à-broches	7.81.
	Métier à filer les nos 25-40	10.80.
Étoupes.	Premier banc d'étirage	18.10.
	Deuxième banc d'étirage	12.20.
	Banc-à-broches	10.20.
	Métier à filer les nos 14-16	11.90.

A l'aide de ces nombres, et en introduisant les désignations suivantes :

D = diamètre des cylindres antérieurs ou cylindres d'*étirage* en longueurs métriques.

U = nombre de tours de ces cylindres par minute.

n = nombre des rubans ou des broches.

p = résistance à la circonférence des cylindres étireurs, en kilogrammes.

f = coefficient pour les temps d'arrêt normaux de la machine.

N = force motrice de la machine en chevaux.

On obtient pour l'évaluation de cette force motrice, dans le cas des étaleuses, des têtes d'étirage, des bancs-à-broches et des métiers à filer, la formule simple :

$$N = f.\,p.\,\frac{D\pi\ Un}{60 \times 75} = \frac{D.U.f.p.n}{1432} \text{ chevaux.}$$

En supposant, pour exemple, un métier à filer l'étoupe de n = 150 broches, dont les cylindres étireurs ont un diamètre D = $0^{m}.060$ et font 40 tours (U) par minute, les temps d'arrêt normaux étant de 15 p. cent. (f = 0.85), et p se trouvant égal à $11^{k}.900$, on posera :

$$N = \frac{0,060 \times 40 \times 0,85 \times 11,9 \times 150}{1432} = \frac{3641}{1432} = 2,54 \text{ chevaux.}$$

Si l'on désigne par L la longueur de ruban ou de fil livrée par les cylindres étireurs en une minute, ce qui est facile à constater directement sur une machine en marche, comme $L = D \pi U$, la formule peut se simplifier encore et devenir :

$$N = \frac{f.p. L. n}{4500} \text{ chevaux};$$

d'où, par exemple, la dépense du travail d'un banc-à-broches de $n = 60$ broches, dont les cylindres étireurs fournissent par minute une quantité de mèche $L = 15$ mètres avec 20 p. cent. de temps d'arrêt ($f. = 0{,}80$), et où, d'après la résistance à la circonférence des mêmes cylindres, $p = 7^k,810$, sera représentée par

$$N = \frac{0{,}80 \times 7{,}810 \times 15 \times 60}{4500} = \frac{5623}{4500} = 1{,}25 \text{ cheval.}$$

Il arrive fréquemment que, dans l'évaluation approximative de la force motrice exigée par un matériel de filature, les auteurs indiquent combien de broches (toutes machines de préparation comprises) correspondent à la force d'un cheval. Des estimations d'origine anglaise publiées par « l'*Organ des Deutsch-Oesterreichischen Leinen-Industrie-Vereins* » portaient à 25 le nombre des broches par cheval, pour des usines de 2000 à 12000 broches, filant, comme numéros moyens, le 35 en long brin et le 18 en étoupes.

Les essais dont nous publions les résultats donnent avec l'assortiment de Samuel Lawson et fils, de Leeds :

Long brin n° 35. 51 }
Etoupes n° 16. 29 } 40 broches par force de cheval, en moyenne;

avec l'assortiment de J. Combe et Cie, de Belfast :

Long brin n° 25. 30 }
Etoupes n° 14. 23 } 26 broches par force de cheval, en moyenne,

en laissant de côté l'évaluation des temps d'arrêt et de la force nécessaire à la transmission générale qui, nous l'avons dit, modifierait en sens inverse et dans une proportion à peu près identique les moyennes ci-dessus.

Enfin, les résultats des tableaux dressés par M. le docteur

Hartig se présentent encore sous une autre forme, lorsque l'on calcule, au moyen des nombres portés en g et en h, la quantité de matière transformée par cheval et par heure. Les moyennes ainsi obtenues peuvent se résumer comme suit :

		Quantité de matière travaillée par force de cheval et par heure, en kilogrammes.	La mise en œuvre de 100 kil. de matière, par heure, exige une force de chevaux.
	Broyeuse (système Guild). .	121,0	0,83
	Espadeuse.	37,5	2,67
	Peigneuse.	100,0	1,00
Long brin.	Étaleuse.	43,0	2,33
	Premier banc d'étirage. . .	32,6	3,07
	Deuxième banc d'étirage. .	41,0	2,44
	Banc-à-broches.	12,3	8,13
	Métier à filer les nos 22 à 40.	1,1	90,90
Étoupes.	Machine à battre les étoupes.	41,9	2,39
	Carde en gros.	26,6	3,76
	Carde en fin.	23,3	4,29
	Premier banc d'étirage. . .	46,7	2,14
	Deuxième banc d'étirage. .	61,0	1,64
	Banc-à-broches.	27,3	3,66
	Métier à filer les nos 14 à 16.	2,1	47,60

Ces données permettent de calculer, pour des lins propres à la production des numéros indiqués et dont on connaît les déchets correspondant à chaque machine, la force motrice totale nécessaire à la transformation d'une quantité déterminée de lin roui en fils de brin et d'étoupes. Ainsi, un lin de Bohême de qualité moyenne, et tel que l'ont donné les récoltes des années 1864-66, occasionnerait, pour la mise en œuvre de 1000 kilog. à l'heure, la dépense résumée ci-après :

1000k de lin roui à broyer par heure exigent 1000.0,0083=8,30 ch.

740k de lin broyé (en admettant un déchet de 26 °/₀) nécessitent pour l'espadage 740×0,0267=19,76 ch.

- 164k,3 de lin espadé demandent pour un double peignage 164,3×0,02=3ch,29.
  - 90k,9 de lin peigné, à l'étalage, prennent 90,9×0,0233.. — chevaux 2,12
  - 88k,2 (par suite du déchet à la machine précédente = 3 °/₀) prennent pour le premier étirage 88,2×0,0307... — 2,71
  - 86k,4 (déchet de l'opération précédente = 2 °/₀), étirés une deuxième fois, emploient 86,4×0,0244... — 2,11
  - 84k,5 (déchet du deuxième étirage = 2 °/₀), transformés sur le banc à broches, prennent 84,5×0,0813..... — 6,87
  - 82k,7 (déchet au banc à broches = 2 °/₀) prennent encore, au métier à filer, 82,7×0,909.......... — 75,17
  - 80k de fil de brin, n° 30 (3 °/₀ perte au métier à filer), nécessitent donc en somme une force motrice de...... — 88,98
  - 72k étoupes, provenant du peignage.
- 33k,7 d'étoupes bonnes à filer (résultant de l'espadage) donnent avec les 72k d'étoupes du peignage un total de 105,7, dont le cardage exige 105,7×0,0805.. — 8,51
  - 84k,6 (20 °/₀ de déchet) prennent au premier passage sur la machine à étirer 84,6×0,0214.......... — 1,81
  - 80k,3 (déchet à la machine précédente = 4 °/₀) demandent, au deuxième passage, 80,3×0,0164... — 1,32
  - 77k,1 (déchet au deuxième étirage = 3 °/₀) occasionnent sur le banc à broches une dépense de 77,1×0,0366. — 2,82
  - 74k (déchet au banc à broches = 3 °/₀) prennent pour le filage 74×0,476...................... — 35,22
  - 70k (4 °/₀ de déchet au métier à filer) de fil d'étoupes, n° 15, prennent en totalité.................... — 49,68

Si donc, une usine doit transformer mille kilogrammes de lin roui par heure, il faudra compter sur une force motrice de :

31,35 chev. pour les machines préparatoires (broyeuses, espadeuses et peigneuses);

88,98 chev. pour les machines de la filature du long brin;

49,68 chev. pour les machines de la filature des étoupes;

soit 170,01 chev. ou, en chiffres ronds, 170 chevaux, la production se répartissant entre 80 kilog. de fil de brin n° 30 et 70 kil. de fil d'étoupes n° 15. On peut encore dire : il faut pour la production, en une heure, de 100 kilog. de fil de brin n° 30 une force motrice de 111 chevaux, et pour la production de 100 kil. de fil d'étoupes n° 15 une force de 71 chevaux.

NUMÉRO D'ORDRE.	NOM de la machine. *a.*	NOM du constructeur. *b.*	VITESSE normale. Nombre de tours de la poulie motrice par minute. *c.*	LARGEUR de la surface de travail. *d.*	AUTRES DIMENSIONS ET VITESSES. *e.*
1.	**Broyeuse**, système Guild.	Ateliers royaux Frédéric-Auguste, à Dresde.	125.	$0^m,680$	Diamètre des rouleaux = 100^{mm}. Nombre des cannelures par rouleau 18. Hauteur des cannelures, 10^{mm}. D = 581^{mm}. *b* = 102^{mm}.
2.	Petite **Machine à espader** à 4 croisillons.	Ateliers de la filature Tetschener, à Bünauburg, près Bodenbach.	140. 8 bras × 140 = 840 coups par minute.	—	Longueur des bras mesurée à partir de l'axe = $0^m,926$. Longueur de la partie active de ces bras, ou couteaux à espader = $0^m,320$. D = 560. *b* = 115.
3.	Grande **Machine à espader**, à 8 croisillons.	Lüsse Márký et Bernard, à Prague.	90. 8 bras × 90 = 720 coups par minute.	—	Longueur totale des bras espadeurs = $1^m,125$. Longueur de la partie active = 0,500. D = 771. *b* = 102.
4.	**Peigneuse** simple.	Combe et Cie, à Belfast.	160.	1,970	Course verticale des mordaches = $0^m,35$. Diamètre des rouleaux peigneurs inférieurs = 0,18. Vitesse des peignes $0^m,68$ à 0,70 par seconde. D = 358. *b* = 80.
5.	**Peigneuse** double.	G. Horner, à Belfast.	100.	2,600	Course verticale des mordaches = $0^m,21$. Diamètre des rouleaux inférieurs = 0,35. Vitesse des peignes $0^m,52$ à 1,05 par seconde. D = 500. *b* = 85.
6.	**Étaleuse.**	S. Lawson et fils, à Leeds.	150.	4 × 3 1/2 = 14 pouces anglais = $0^m,356$.	Distance des 2 paires de cylindres étireurs = 30 p. anglais = $0^m,762$. Nombre des gills, 43. Diamètres / Tours p. minute. Cylind. antérieurs (*front rollers*), $0^m,114$ 80,23 Cylind. postérieurs (*back rollers*), $0^m,089$ 5,00 Étirage = 20. D = 460. *b* = 70.

TRAVAIL moyen dans une heure.	PRODUCTION effective dans une heure.	Force motrice en chevaux à la vitesse normale. A vide.	En charge.	Différence.	RAPPORT $\frac{k}{i}$	Force motrice moyenne en tenant compte des arrêts.	OBSERVATIONS.
f.	g.	h.	i.	k.	l.	m.	n.
0,60	40 kilogrammes de lin en tiges ou 30 kil. de lin broyé.	0,316	**0,547**	0,231	0,42	**0,33**	La machine était, avant les essais, restée un certain temps hors de service.
0,90	14 kilogrammes de lin broyé (3k,5 par élément espadeur) ou 2k,5 net de lin espadé.	0,18	**0,41**	0,23	0,56	**0,37**	
0,90	35 kilogrammes de lin broyé (4k,4 par élément) donnent net 8k,2 de lin espadé.	0,47	**1,04**	0,57	0,57	**0,94**	
0,90	45 kilogrammes de lin espadé donnent 24 kil. de lin peigné, 15 kil. d'étoupes et 6 kil. de poussière.	0,310 0,195	**0,48** **0,45**	0,14 0,25	0,29 0,57	**0,43** **0,41**	8 mouvements de monte-et-baisse des mordaches, par minute 4,48 mouvements.
0,80	50 kilogrammes de lin espadé donnent 27k,2 de lin peigné.	0,457 0,267	**0,683** **0,335**	0,226 0,068	0,33 0,20	**0,56** **0,27**	5,95 mouvements de monte-et-baisse des mordaches, par minute, 2,98 mouvements.
0,80	30 kilogrammes 1380 mètres.	0,72	**0,84**	0,12	0,11	**0,67**	Travaille depuis se[pt] années.

NUMÉRO D'ORDRE.	NOM de la machine. *a.*	NOM du constructeur. *b.*	VITESSE normale. Nombre de tours de la poulie motrice par minute. *c.*	LARGEUR de la surface de travail. *d.*	AUTRES DIMENSIONS ET VITESSES. *e.*
7.	**Étaleuse.**	S. Lawson et fils, à Leeds.	158	4 × 3 1/4 = 13 pouces anglais = 0m,33.	Distance des 2 paires de cylindres étireurs = 30 p. anglais = 0m,762 Nombre des gills, 52. Diamètres — Tours p. minute Front rollers ou cylind. antérieurs 0m,102 79,00 Back rollers ou cylind. postérieurs 0m,089 4,31 Étirage = 20. D = 460. *b* = 70.
8.	**Étaleuse** (asst. II).	J. Combe et Cie, à Belfast.	125.	4 × 90 mm. = 0m,36.	Distance des 2 paires de cylindres étireurs = 0m,820. Nombre de gills, 52. En travail, 36. Diamètres — Tours p. minute Cylind. postérieurs 0m,075 6,42 — antérieurs 0 ,114 61,4 — délivreurs 0 ,102 81,9 Étirage = 25 à 40. D = 408. *b* = 80.
9.	**Étaleuse** (asst. I).	Id.	125.	4 × 90 mm. = 0m,36.	Mêmes dimensions et vitesses qu'au numéro 8.
10.	**1er Banc d'étirage** pour long brin.	S. Lawson et fils, à Leeds.	150.	3 × 4 × 0m,070 = 0m,84, (3 têtes à 4 rubans.)	Distance des 2 paires de cylindres étireurs = 27 p. anglais = 0m,686 Nombre des gills, 53. En travail, 40. Diamètres — Tours p. minute Cyl. postérieurs 0m,0635 7,03 — antérieurs 0 ,0762 82,03 Étirage = 14. Variable entre 12 et 18. D = 460. *b* = 70.
11.	**1er Banc d'étirage** pour long brin.	Id.	150.	3 × 4 × 0m,089 = 1m,07, (3 têtes à 4 rubans).	Distance des 2 paires de cylindres étireurs = 0m,686. Nombre des gills, 53. En travail, 40. Diamètres — Tours p. minute Cyl. postérieurs 0m,0635 6,43 — antérieurs 0 ,0762 75,0 Étirage = 14. D = 455. *b* = 70.

TRAVAIL moyen dans une heure.	PRODUCTION effective dans une heure.	Force motrice en chevaux à la vitesse normale.			RAPPORT $\frac{k}{i}$	Force motrice moyenne en tenant compte des arrêts.	OBSERVATIONS.
		A vide.	En charge.	Différence.			
f.	*g.*	*h.*	*i.*	*k.*	*l.*	*m.*	*n.*
0,80	28 kilogrammes 1106 mètres.	0,51	**0,81**	0,30	0,37	**0,65**	Travaille depuis sept ans.
0,93	20,3 kilogram. (1227 mètres par appareil de sortie).	0,49	**0,55**	0,06	0,11	**0,5**	Travaille depuis deux ans et demi.
0,93	22,8 kilogram. (1227 mètres par appareil de sortie).	0,49 0,51	**0,54** **0,57**	0,05 0,03	0,09 0,05	**0,50** **0,53**	Avec un étirage éga à 40. Avec un étirage éga à 25.
0,80	30,9 kilogram. (943 mètres).	0,93	**1,15**	0,22	0,19	**0,92**	Travaille depuis sept ans.
0,80	28,2 kilogram. (662 mètres).	0,93	**1,10**	0,17	0,15	**0,88**	Travaille depuis sept ans.

NOM de la machine. *a.*	NOM du constructeur. *b.*	VITESSE normale. Nombre de tours de la poulie motrice par minute. *c.*	LARGEUR de la surface de travail. *d.*	AUTRES DIMENSIONS ET VITESSES. *e.*
1er Banc d'étirage pour long brin (asst. I).	J. Combe et Cie, à Belfast.	140.	3 × 6 × 0^m,067 = 1^m,21, (3 têtes à 6 rubans.)	Distance des cylindres étireurs = 0^m,715. Nombre des gills, 60. En travail, 43. Diamètres / Tours p. minute. Cyl. postérieurs 0^m,051 6,6 — antérieurs 0 ,075 70,0 — délivreurs 0 ,101 54,0 Étirage = 16. Peut varier entre 12 et 18. D = 408. *b* = 75.
1er Banc d'étirage pour long brin (asst. II).	Id.	140.	3 × 8 × 0^m,056 = 1^m,34, (3 têtes à 8 rubans.)	Distance des cylindres étireurs = 0^m,715. Nombre de gills, 60. En travail, 44. Diamètres / Tours p. minute. Cyl. postérieurs 0^m,050 7,56 — antérieurs 0 ,075 80,00 — délivreurs 0 ,100 61,50 Étirage 16, doublage 8. D = 408. *b* = 80.
2e Banc d'étirage pour long brin.	S. Lawson et fils, à Leeds.	150.	3 × 6 × 0^m,076 = 1^m,37, (3 têtes à 6 rubans.)	Distance des cylindres étireurs = 0^m,610. Nombre des gills, 48. Diamètres / Tours p. minute. Cyl. postérieurs 0^m,0635 6,4 — antérieurs 0 ,0762 75,0 Étirage 12 jusqu'à 18. Doublage 6. D = 460. *b* = 72.
2e Banc d'étirage pour long brin.	Id.	150.	3 × 6 × 0^m,076 = 1^m,37, (3 têtes à 6 rubans.)	Distance des cylindres étireurs = 0^m,610. Nombre des gills, 57. En travail, 42. Diamètres / Tours p. minute. Cyl. postérieurs 0^m,0508 6,7 — antérieurs 0 ,0635 75,0 Étirage 14 (variable entre 12 et 18) Doublage 6 D = 470. *b* = 72.
2e Banc d'étirage pour long brin (asst. I).	J. Combe et Cie, à Belfast.	150.	3 × 8 × 0^m,028 = 0^m,67, (3 têtes à 8 rubans.)	Distance des cylindres étireurs = 0^m,610. Nombre des barrettes, 60. En travail, 42.

TRAVAIL moyen dans une heure.	PRODUCTION effective dans une heure.	Force motrice en chevaux à la vitesse normale.			RAPPORT $\frac{k}{i}$	Force motrice moyenne en tenant compte des arrêts.	OBSERVATIONS.
		A vide.	En charge.	Différence.			
f.	*g.*	*h.*	*i.*	*k.*	*l.*	*m.*	*n.*
0,93	12,3 kilogram. (1027 mètres).	0,54	**0,64**	0,10	0,16	**0,60**	Travaille depuis deux ans et demi.
0,93	26 kilogrammes (1077 mètres par appareil de sortie).	0,59	**0,63**	0,04	0,07	**0,59**	Travaille depuis deux ans et demi.
0,80	20 kilogrammes (862 mètres).	0,97	**1,08**	0,11	0,10	**0,86**	Travaille depuis sept ans.
0,80	18 kilogrammes (719 mètres).	0,61	**0,72**	0,11	0,15	**0,58**	Travaille depuis sept ans.
0,93	24 kilogrammes (993 mètres).	0,45	**0,54**	0,09	0,17	**0,50**	Travaille depuis deux ans et demi.

NUMÉRO D'ORDRE.	NOM de la machine. *a*.	NOM du constructeur. *b*.	VITESSE normale. Nombre de tours de la poulie motrice par minute. *c*.	LARGEUR de la surface de travail. *d*.	AUTRES DIMENSIONS ET VITESSES. *e*.
					Diamètres / Tours p. minute. Cyl. postérieurs 0m,050 7,9 — antérieurs 0 ,063 88,5 — délivreurs 0 ,075 75,6 Étirage = 14. D = 409. *b* = 78.
17.	**2e Banc d'étirage** pour long brin (asst. II).	J. Combe et Cie, à Belfast.	155.	3 × 8 × 0m,028 = 0m,67 (3 têtes à 8 rubans).	Distance des cylindres étireurs = 0m,670. Nombre des barrettes à gills, 56. En travail, 40. Diamètres / Tours p. minute. Cyl. postérieurs 0m,051 8,37 — antérieurs 0 ,063 88,5 — délivreurs 0 ,101 67,9 Étirage 14. D = 409. *b* = 75.
18.	**Banc-à-broches** pour long brin.	S. Lawson et fils, à Leeds.	205.	6×10×0m,017 = 1m,02 (6 têtes à 10 broches).	Distance des cylindres étireurs = 0m,559. Nombre des barrettes à gills, 59. En travail, 37. Diamètres / Tours p. minute. Cyl. postérieurs 0m,0508 8,67 — antérieurs 0 ,0635 97,1 Broches........ 599 Étirage 14 (peut varier de 12 à 18). Torsion par pouce anglais 0,785 (variable jusqu'à 5) = 0,310 par centimètre. N° de la préparation 4,5. D = 450. *b* = 70.
19.	**Banc-à-broches** pour long brin.	Id.	185.	6×10×0m,023 = 1m,38 (6 têtes à 10 broches).	Distance des cylindres étireurs = 0m,559. Nombre des barrettes, 65. En travail, 49. Diamètres / Tours p. minute. Cyl. postérieurs 0m,0508 8,4 — antérieurs 0 ,0571 104 Broches........ 541 Étirage 14 (peut varier de 12 à 18). Torsion par pouce anglais = 0,73 — centimètre = 0,29 N° de la préparation 5. D = 455. *b* = 70.

TRAVAIL moyen dans une heure. *f.*	PRODUCTION effective dans une heure. *g.*	Force motrice en chevaux à la vitesse normale. A vide. *h.*	En charge. *i.*	Différence. *k.*	RAPPORT $\frac{k}{i}$ *l.*	Force motrice moyenne en tenant compte des arrêts. *m.*	OBSERVATIONS. *n.*
0,93	26 kilogrammes (1200 mètres par broche).	0,55	0,62	0,07	0,11	0,58	Travaille depuis deux ans et demi.
0,80	20 kilogrammes (881 mètres).	2,05	2,21	0,16	0,08	1,76	Travaille depuis sept ans.
0,80	17,9 kilogram. (900 mètres par broche).	2,13	2,28	0,15	0,07	1,82	Travaille depuis sept ans.

NUMÉRO D'ORDRE.	NOM de la machine. *a.*	NOM du constructeur. *b.*	VITESSE normale. Nombre de tours de la poulie motrice par minute. *c.*	LARGEUR de la surface de travail. *d.*	AUTRES DIMENSIONS ET VITESSES. *e.*
20.	**Banc-à-broches** pour long brin (ass[t]. I).	J. Combe et Cie, à Belfast.	190.	$8 \times 10 \times 0^m,015 = 1^m,20$ (8 têtes à 10 broches).	Distance des cylindres étireurs = $0^m,575$. Nombre de gills, 60. En travail, 44. Diamètres / Tours p. minute. Cyl. postérieurs $0^m,045$ 7,22 — antérieurs 0 ,050 97,1 Broches......... 438 Étirage depuis 12 jusqu'à 16. Torsion par pouce anglais = 1,01 — centimètre = 0,40. D = 459. *b* = 75.
21.	**Banc-à-broches** pour long brin (ass[t]. II).	Id.	210.	$8 \times 10 \times 0^m,016 = 1^m,28$ (8 têtes à 10 broches).	Distance des cylindres étireurs = $0^m,575$. Nombre de gills, 55. En travail, 39. Diamètres / Tours p. minute. Cyl. postérieurs $0^m,045$ 13,25 — antérieurs 0 ,050 107 Broches......... 485 Étirage 16. Torsion par pouce anglais = 0,75 — centimètre = 0,30 D = 408. *b* = 75.
22.	**Métier à filer** pour long brin.	S. Lawson et fils, à Leeds.	370.	128 broches.	Écartement des broches 3 pouces anglais = $0^m,0762$. Distance des cylindres étireurs 0,102. Hauteur des bobines 0,076. Diam. des bobines $0^m,022$ à 0,051. Diamètres / Tours p. minute. Cyl. postérieurs $0^m,045$ 7,0 — antérieurs 0 ,076 28,3 Broches........ 2537 Étirage = 6,9. Torsion par pouce anglais = 9,1 — centimètre = 3,58 D = 355. *b* = 90.
23.	**Métier à filer** pour long brin.	Id.	370.	128 broches.	Même écartement des broches et même dist. entre les 2 paires de cyl. étireurs qu'au n° 22. Diamètres / Tours p. minute. Cyl. postérieurs $0^m,045$ 8,4 — antérieurs 0 ,076 30,2 Broches........ 2537

TRAVAIL moyen dans une heure.	PRODUCTION effective dans une heure.	Force motrice en chevaux à la vitesse normale.			RAPPORT $\frac{k}{i}$	Force motrice moyenne en tenant compte des arrêts.	OBSERVATIONS.
		A vide.	En charge.	Différence.			
f.	*g.*	*h.*	*i.*	*k.*	*l.*	*m.*	*n.*
0,93	24 kilogrammes (842 mètres par broche).	1,89	**2,02**	0,13	0,06	**1,88**	Travaille depuis deux ans et demi.
0,93	26 kilogrammes (937 mètres par broche).	1,71	**1,82**	0,11	0,06	**1,69**	Travaille depuis deux ans et demi.
0,85	3^k,050 de fil n° 25 (361 m. par broche.)	1,96	**2,74**	0,78	0,29	**2,33**	Travaille depuis sept ans.
0,85	3^k,700 de fil n° 22 (385 m. par broche.)	1,55	**2,58**	1,03	0,40	**2,19**	Travaille depuis sept ans.

NUMÉRO D'ORDRE.	NOM de la machine. *a*.	NOM du constructeur. *b*.	VITESSE normale. Nombre de tours de la poulie motrice par minute. *c*.	LARGEUR de la surface de travail. *d*.	AUTRES DIMENSIONS ET VITESSES. *e*.
					Étirage = 6,14. Torsion par pouce anglais = 6,5 — centimètre = 3,35 D = 355 *b* = 90.
24.	**Métier à filer** pour long brin.	S. Lawson et fils, à Leeds.	370.	140 broches.	Écartement des broches 2 3/4 pouce anglais = 0m,070 Distance des cyl. étireurs = 0m,039 Hauteur des bobines 0m,070. Diam. des bobines 0.022 à 0,045. Diamètres / Tours par minute Cyl. postérieurs 0m,038 7,2 — antérieurs 0 ,070 27 Broches....... 2467. Étirage = 6,85. Torsion par pouce anglais = 10,12 — centimètre = 4,00 D = 355. *b* = 90.
25.	**Métier à filer** pour long brin.	Id.	370.	152 broches.	Écartement des broches 2 1/2 pouces anglais = 0m,0635. Distance des cylindres étireurs 3 1/4 = 0m,079. Hauteur des bobines = 0m,0635. Diam. des bobines 0m,019 à 0,0390 Diamètres / Tours par minute Cyl. d'entrée 0m,038 5,80 — étireurs 0 ,064 31,45 Broches....... 2960. Étirage 7,92. Torsion par pouce anglais = 11,5 — centimètre = 4,5 D = 350. *b* = 90.
26.	**Métier à filer** pour long brin.	Combe et Cie, à Belfast.	411.	208 broches.	Écartement des broches 2 1/4 pouces anglais = 0m,057. Distance des cyl. étireurs = 0m,084 Hauteur des bobines = 0,065. Diamètre des bobines de 0m,017 à 0,035. Diamètres / Tours par minute Cyl. d'entrée 0m,038 6,5 — étireurs 0 ,064 39,5 Broches....... 2984. Étirage 10,25. Torsion par pouce anglais = 10,63 — centimètre = 4,2 D = 355. *b* = 75.

TRAVAIL moyen dans une heure.	PRODUCTION effective dans une heure.	Force motrice en chevaux à la vitesse normale.			RAPPORT $\frac{k}{i}$	Force motrice moyenne en tenant compte des arrêts.	OBSERVATIONS.
		A vide.	En charge.	Différence.			
f.	*g.*	*h.*	*i.*	*k.*	*l*	*m.*	*n.*
0,85	2k,460 de fil n° 30 (318 m. par broche).	1,08	**1,68**	0,60	0,36	**1,43**	L'essai en charge n'a été fait qu'au début de l'envidage des bobines.
0,85	2k,100 de fil n° 40 (335 m. par broche).	0,99	**1,63**	0,64	0,39	**1,38**	Travaille depuis sept ans. Pression sur les cylindres étireurs 15 kilogr. par broche.
0,85	5k,560 de fil n° 25 (405 m. par broche).	3,83	**5,73**	1,90	0,33	**4,87**	Travaille depuis deux ans et demi. Pression sur les cylindres étireurs, 28 kilogr. par broche. Diamètre des broches 3/8 pouce anglais = 0m,0095.

NUMÉRO D'ORDRE.	NOM de la machine. *a.*	NOM du constructeur. *b.*	VITESSE normale. Nombre de tours de la poulie motrice par minute. *c.*	LARGEUR de la surface de travail. *d.*	AUTRES DIMENSIONS ET VITESSES. *e.*
27.	**Métier à filer** pour long brin.	J. Combe et Cie, à Belfast.	411.	208 broches.	Mêmes dimensions qu'au n° 2[illegible]. Étirage 10,52. Torsion par pouce anglais = 12,[illegible] — centimètre = 4,[illegible] D. = 355. *b* = 75.
28.	**Machine à secouer** les étoupes.	M. Frenzel, à Chemnitz.	Tambour 600	0,82	Diamètre du tambour 1m,00 — des alimentaires 0,07[illegible] — du crible cyl. 0,47[illegible] — du ventilateur 0,47[illegible] Nombre de tours des alimentaires 19,5 par minute, — du tamis...... 15,8. — du ventilateur.. 1745. D = 268. *b* = 7[illegible].
29.	**Carde à étoupes**, syst. Dockrey.	Greenvood et Batley, à Leeds.	Tambour 283	1,83	Diamètre du tambour = 0m,[illegible]0 — Diamètres / Tours par minute Alimentaires... 0,114 1,1[illegible] Travailleurs... 0,216 2,54[illegible] Nettoyeurs..... 0,203 190 Détacheurs (*Doffers*)........ 0,279 — Cyl. de sortie.. 0,104 21,6 D = 350.
30.	**Carde en gros** pour étoupes.	S. Lawson et fils, à Leeds.	Tambour 170	1,83	Diamètres / Tours par minute Tambour...... 1,52 170,00 Alimentaires... 0,075 3,31 Travailleurs.... 0,178 3,39 Nettoyeurs .... 0,203 247,00 Détacheurs (Doffers)....... 0,375 4,33 Cyl. de sortie.. 0,108 22,00 D = 600. *b* = 125.
31.	**Carde en gros** pour étoupes.	Id.	Tambour 157	1,83	Diamètres / Tours par minute Tambour...... 1,52 Alimentaires... 0,075 0,84 Travailleurs.... 0,178 4,2[illegible] Nettoyeurs .... 0,203 232,00 Détacheurs (Doffers)....... 0,375 4,45 Cyl. de sortie.. 0,108 22,60 D = 660. *b* = 125.

TRAVAIL moyen dans une heure.	PRODUCTION effective dans une heure.	Force motrice en chevaux à la vitesse normale: A vide.	En charge.	Différence.	RAPPORT $\frac{k}{i}$	Force motrice moyenne en tenant compte des arrêts.	OBSERVATIONS.
f.	g.	h.	i.	k.	l.	m.	n.
0,85	2k,750 de fil n° 40 (320 m. par broche).	5,54	6,67	1,13	0,17	5,67	Travaille depuis deux ans et demi.
0,79	100 kilogrammes.	2,28	3,02	0,74	0,25	2,39	Cette machine nettoie bien, mais brise beaucoup l'étoupe. Sa construction offre une certaine analogie avec celle de l'ouvreuse à coton de Taylor Lang et Cie.
0,80	18,4 kilogrammes.	2,16	2,61	0,45	0,17	2,09	Cette carde était restée au repos pendant six mois environ avant les essais. — Comme on le voit, le tambour est très-petit; il n'est desservi que par deux paires de travailleurs et de nettoyeurs; néanmoins 3 *doffers* et une tête d'étirage fournissent 3 rubans à la sortie.
0,80	38,1 kil. 1 m. carré de nappe alimentaire pèse 0k,530.	2,45	2,57	0,09	0,04	2,06	Cette machine, montée depuis sept ans, avait été recouverte de garnitures neuves trois semaines avant l'essai.
0,80	45 kil. 1 mètre carré de nappe alimentaire pèse 0k,950.	1,96	2,36 avec des étoupes courtes.	0,40	0,17	1,88	Machine montée depuis deux mois et demi.
			2,55 avec des longues	0,59	0,23	2,04	

NUMÉRO D'ORDRE.	NOM de la machine. *a.*	NOM du constructeur. *b.*	VITESSE normale. Nombre de tours de la poulie motrice par minute. *c.*	LARGEUR de la surface de travail. *d.*	AUTRES DIMENSIONS ET VITESSES. *e.*
32.	**Carde en gros** pour étoupes (ass. I).	J. Combe et Cie, à Belfast.	Tambour 175	1,80	Diamètres / Tours par minute Tambour...... 1m,52 Alimentaires... 0,076 4,67 Travailleurs.... 0,178 3,32 Nettoyeurs..... 0,203 213,04 Doffers....... 0,305 7,39 Cyl. de sortie.. 0,100 34,60 D = 561. *b* = 115.
33.	**Carde en gros** pour étoupes (ass. II).	Id.	Tambour 175	1,80	Mêmes dimensions et vitesses qu'au n° 32.
34.	**Carde en fin** pour étoupes.	S. Lawson et fils, à Leeds.	Tambour 170	1,83	Diamètres / Tours par minute Tambour...... 1m,52 Alimentaires... 0,075 2,39 Travailleurs.... 0,178 3,76 Nettoyeurs..... 0,203 246,40 Doffers....... 0,375 4,50 Cyl. de sortie.. 0,108 4,42 D = 600. *b* = 125.
35.	**Carde en fin** pour étoupes.	Id.	Tambour 157	1,83.	Diamètres / Tours par minute Tambour...... 1m,52 Alimentaires... 0,075 2,20 Travailleurs... 0,178 5,48 Nettoyeurs..... 0,203 228,00 Doffers....... 0,375 4,16 Cyl. de sortie.. 0,108 4,03 D = 650. *b* = 125.
36.	**Carde en fin** pour étoupes (ass. I).	J. Combe et Cie, à Belfast.	Tambour 185	1,80.	Diamètres / Tours par minute Tambour...... 1m,52 185,00 Alimentaires... 0,075 2,15 Travailleurs.... 0,178 3,56 Nettoyeurs.... 0,203 274,60 Doffers....... 0,305 5,64 Cyl. de sortie.. 0,100 36,40 D = 569. *b* = 115.
37.	**1er banc d'étirage** pour étoupes.	S. Lawson et fils, à Leeds.	Poulie motrice 116.	$3 \times 4 \times 0^m,076 = 0^m,912$ (3 têtes à 4 rubans et 2 appareils de sortie).	Diamètres / Tours par minute Cyl. postérieurs. 0m,051 14,2 — antérieurs.. 0 ,064 63,00 Étirage = 6. Distance des deux paires de cylindres étireurs = 0m,256. D = 406. *b* = 80.

TRAVAIL moyen dans une heure.	PRODUCTION effective dans une heure.	Force motrice en chevaux à la vitesse normale.			RAPPORT $\frac{k}{i}$	Force motrice moyenne en tenant compte des arrêts.	OBSERVATIONS.
		A vide.	En charge.	Différence.			
f.	*g.*	*h.*	*i.*	*k.*	*l.*	*m.*	*n.*
0,91	70k,400 1 m. carré de nappe alimentaire pèse 0k,700.	1,30	**1,96**	0,66	0,34	**1,78**	En travail depuis deux ans et demi.
0,91	56m,300 1 m. carré de nappe pèse 0k,560.	1,33	**2,36**	1,03	0,44	**2,15**	Travaille depuis deux ans et demi.
0,80		1,60	**1,80**	0,20	0,11	**1,44**	Travaille depuis sept ans.
0,80	36k,900	1,44	**1,70**	0,26	0,15	**1,36**	Travaille depuis sept ans.
0,91	50 kilogrammes.	1,66	**2,25**	0,59	0,26	**2,05**	Travaille depuis deux ans et demi.
0,80	29k,400 (650 mètres de ruban par appareil de sortie).	0,74	**0,90**	0,16	0,18	**0,72**	Travaille depuis sept ans.

NUMÉRO D'ORDRE.	NOM de la machine. *a.*	NOM du constructeur. *b.*	VITESSE normale. Nombre de tours de la poulie motrice par minute. *c.*	LARGEUR de la surface de travail. *d.*	AUTRES DIMENSIONS ET VITESSES. *e.*
38.	1ᵉʳ banc d'étirage pour étoupes.	S. Lawson et fils, à Leeds.	116.	$3 \times 4 \times 0^m,076$ $= 0^m,912$ (3 têtes à 4 rubans et 2 appareils de sortie).	Diamètres / Tours par minute Cyl. postérieurs, $0^m,051$ 14,1 — antérieurs.. 0 ,064 68,00 Étirage = 6. Distance des cylindres étireurs = $0^m,256$. D = 400. *b* = 80.
39.	1ᵉʳ banc d'étirage pour étoupes (assᵗ. I).	J. Combe et Cie, à Belfast.	190.	$3 \times 6 \times 0^m,064$ $= 1^m,152$ (3 têtes à 6 rubans et 2 appareils de sortie).	Diamètres / Tours par minute Cyl. postérieurs $0^m,038$ 20,00 — antérieurs. 0 ,056 106,00 — délivreurs. 0 ,075 78,00 Étirage = 8. Distance des deux paires d'étireurs = 0,270. D = 383. *b* = 77.
40.	1ᵉʳ banc d'étirage pour étoupes (assᵗ. II).	Id.	200.	$3 \times 6 \times 0^m,054$ $= 0^m,972$ (3 têtes à 6 rubans et 2 appareils de sortie).	Diamètres / Tours par minute Cyl. postérieurs $0^m,038$ 21,00 — antérieurs. 0 ,056 112,00 — Délivreurs. 0 ,075 82,00 Étirage = 8. Distance des deux paires de cylindres étireurs = 0.270 D = 383. *b* = 75.
41.	2ᵉ banc d'étirage pour étoupes.	S. Lawson et fils, à Leeds.	116.	$3 \times 6 \times 0^m,064$ $= 1^m,152$ (3 têtes à 6 rubans et 3 appareils de sortie).	Diamètres / Tours par minute Cyl. postérieurs. $0^m,044$ 13,8 — antérieurs.. 0 ,037 64,4 Étirage = 6. Distance des cyl. étireurs, $0^m,238$ D = 400. *b* = 77.
42.	2ᵉ banc d'étirage pour étoupes.	Id.	116.	$3 \times 6 \times 0^m,064$ $= 1^m,152$ (3 têtes à 6 rubans et 3 rouleaux délivreurs ou appareils de sortie.	Mêmes dimensions et vitesses que celles de la machine précédente. D = 400. *b* = 77.
43.	2ᵉ banc d'étirage pour étoupes (assᵗ. I).	J. Combe et Cie, à Belfast.	210.	$3 \times 8 \times 0^m,040$ $= 0^m,096$ (3 têtes à 8 rubans).	Distance des cyl. étireurs, $0^m,250$ Diamètres / Tours par minute Cyl. postérieurs. $0^m,037$ 19,5 — antérieurs.. 0 ,050 120,0 — délivreurs.. 0 ,075 81.6 Étirage = 8,5. Doublage = 8. D = 382. *b* = 77.

TRAVAIL moyen dans une heure.	PRODUCTION effective dans une heure.	Force motrice en chevaux à la vitesse normale.			RAPPORT $\frac{k}{i}$	Force motrice moyenne en tenant compte des arrêts.	OBSERVATIONS.
		A vide.	En charge.	Différence.			
f.	*g*.	*h*.	*i*.	*k*.	*l*.	*m*.	*n*.
0,80	29k,400 (650 mètres de ruban par appareil de sortie)	0,48	**0,62**	0,14	0,23	**0,50**	Travaille depuis sept ans.
0,93	55 kilogrammes (1040 mètres par appareil de sortie).	—	**1,48**	—	—	**1,38**	Travaille depuis deux ans et demi.
0,93	45 kilogrammes (1100 mètres par appareil de sortie).	0,79	**0,86**	0,07	0,08	**0,80**	Travaille depuis deux ans et demi.
0,80	29 kilogrammes Longueur de ruban par appareil de sortie = 556 mètres	0,50	**0,60**	0,10	0,17	**0,48**	Travaille depuis sept ans.
0,80	29 kilogrammes	0,80	**0,92**	0,12	0,13	**0,74**	Travaille depuis sept ans.
0,93	55 kilogrammes (1050 mètres par tête).	—	**0,92**	—	—	**0,86**	Travaille depuis deux ans et demi.

NUMÉRO D'ORDRE.	NOM de la machine. *a.*	NOM du constructeur. *b.*	VITESSE normale. Nombre de tours de la poulie motrice par minute. *c.*	LARGEUR de la surface de travail. *d.*	AUTRES DIMENSIONS ET VITESSES. *e.*
44.	2e banc d'étirage pour étoupes (asst. II).	J. Combe et Cie, à Belfast.	180.	3 × 8 × 0m,031 = 0m,74 (3 têtes à 8 rubans).	Distance des deux paires d'étireurs = 0m,260. Diamètres / Tours par minute Cyl. postérieurs. 0m,035 17,1 — antérieurs.. 0 ,047 103,0 — délivreurs.. 0 ,076 70,0 Étirage = 8,8. Doublage = 8. D = 383. *b* = 75.
45.	Banc-à-broches pour étoupes.	S. Lawson et fils, à Leeds.	154.	7 × 8 × 0m,013 = 0m,73 (7 têtes à 8 broches).	Distance des cylindres étireurs = 0m,206. Écartement des broches = 7 p. ang. = 0m,178. Diamètres / Tours par minute Cyl. de livraison 0m,038 15,8 — étireurs... 0 ,051 83,0 Broches....... 456,0 Étirage = 7. Torsion par pouce anglais = 0,86. — — centimètre = 0,34 D = 404. *b* = 80.
46.	Banc-à-broches pour étoupes (asst. I).	J. Combe et Cie, à Belfast.	240.	8 × 10 × 0m,020 = 1m,60 (8 têtes à 10 broches).	Distance des cylindres étireurs = 0m,235. Écartement des broches = 0m,150 Diamètres / Tours par minute Cyl. de livraison 0,0375 17,5 — étireurs... 0,0426 101,0 Broches....... 599,0 Étirage = 8. Torsion par pouce anglais = 1,12. — — centimètre = 0,44. D = 458. *b* = 80.
47.	Banc-à-broches pour étoupes (asst. II).	Id.	225.	8 × 10 × 0m,020 = 1m,60 (8 têtes à 10 broches).	Distance des deux paires d'étireurs = 0m,240. Écartement des broches = 0m,150 Diamètres / Tours par minute Cyl. de livraison 0m,038 12,8 — étireurs... 0 ,044 80,0 Broches....... 511,0 Etirage = 8. Torsion par pouce anglais = 1,2. — — centimètre = 0,47. D = 458. *b* = 80.

TRAVAIL moyen dans une heure.	PRODUCTION effective dans une heure.	Force motrice en chevaux à la vitesse normale.			RAPPORT $\frac{k}{i}$	Force motrice moyenne en tenant compte des arrêts.	OBSERVATIONS.
		A vide.	En charge.	Différence.			
f.	*g*.	*h*.	*i*.	*k*.	*l*.	*m*.	*n*.
0,93	45 kilogrammes (848 mètres par tête).	0,47	**0,55**	0,08	0,15	**0,51**	Travaille depuis deux ans et demi.
0,80	49k,500 de préparation n° 119 (638 mètres par broche).	1,62	**1,73**	0,11	0,06	**1,38**	Travaille depuis sept ans.
0,93	50 kilogrammes (755 mètres par broche).	—	**2,68**	—	—	**2,49**	Travaille depuis deux ans et demi.
0,93	50 kilogrammes (616 mètres par broche).	1,73	**1,74**	0,01	0,01	**1,62**	Travaille depuis deux ans et demi.

NUMÉRO D'ORDRE.	NOM de la machine. *a*.	NOM du constructeur. *b*.	VITESSE normale. Nombre de tours de la poulie motrice par minute. *c*.	LARGEUR de la surface de travail. *d*.	AUTRES DIMENSIONS ET VITESSES. *e*.
48.	**Métier à filer** pour étoupes.	S. Lawson et fils, à Leeds.	370.	128 broches.	Ecartement des broches = 3 pouces anglais = $0^m,0762$. Etirage = 11,8. Torsion = 8 par pouce anglais ou 3,15 par centimètre. D = 410. *b* = 80.
49.	**Métier à filer** pour étoupes.	Id.	370.	128 broches.	Ecartement des broches = 3 pouces anglais = $0^m,0762$. Etirage = 11,8. Torsion par pouce anglais = 8 — — centimètres. = 3,15 D = 400. *b* = 80.
50.	**Métier à filer** pour étoupes.	J. Combe et Cie, à Belfast.	384.	188 broches.	Ecartement des broches = $0^m,064$ Distance des cylindres étireurs = $0^m,070$. Hauteur des bobines = $0^m,063$ Diamètre des bobines = $0^m,019$ à 0,035. Nombre de tours des broches par minute, 3,310. Etirage = 9,3. Torsion par pouce anglais = 10,34 Torsion par centimètre = 4,10 D = 356. *b* = 78.
51.	**Métier à filer** pour pour étoupes.	Id.	384.	188 broches.	Comme dans le métier précédent.
52.	**Scie circulaire** pour débiter les rouleaux de pression.	Ateliers de construction de la filature Tetschener, à Bünauburg.	480.	Largeur du trait = $0^m,004$.	Diamètre de la scie = $0^m,610$ Epaisseur = 0,0024. Nombre des dents, 86. Ecartement des dents = $0^m,0223$ Hauteur maxima du trait de scie = $0^m,204$. Epaisseur des rouleaux = 0,052. Longueur = 0,114. D = 190. *b* = 155.

TRAVAIL moyen dans une heure.	PRODUCTION effective dans une heure.	Force motrice en chevaux à la vitesse normale.			RAPPORT $\frac{k}{i}$	Force motrice moyenne en tenant compte des arrêts.	OBSERVATIONS.
		A vide.	En charge.	Différence.			
f.	*g.*	*h.*	*i.*	*k.*	*l.*	*m.*	*n.*
0,85	6-,400 fil n° 16 (425 mètres par broche).	1,38	**2,43**	1,05	0,43	**2,07**	Travaille depuis sept ans.
0,85	6k,480 fil n° 16 (485 mètres par broche).	—	**2,23**	—	—	**1,90**	Travaille depuis sept ans. Poids sur les cylindres lamineurs ou étireurs = 15 kil. par broche. Diamètre des broches, = 0m,011.
0,85	9k,100 fil n° 14 (411 mètres par broche).	4,38	**6,27**	1,89	0,30	**5,31**	Travaille depuis deux ans et demi. Pression sur les cylindresétireurs = 28 kil. par broche. Diamètre des broches, = 0,0095.
0,85	9k,100 fil n° 14.	4,49	**6,48**	1,99	0,31	**5,51**	Travaille depuis deux ans et demi.
0,10	10 — 25mq de sciage, avec 90 °/o de temps d'arrêt.	0,19	**1,70**	1,51	0,89	**0,15**	Sciages en mètre carrés par force de cheval et par heure. Sapin, dans le sens du bois....... 10,08 Aune, dans le sens transversal..... 7,87 Charme, dans le sens du bois 5,12 Alisier...... 4,85 Chêne...... 4,53

NUMÉRO D'ORDRE.	NOM de la machine. *a*.	NOM du constructeur. *b*.	VITESSE normale. Nombre de tours de la poulie motrice par minute. *c*.	LARGEUR de la surface de travail. *d*.	AUTRES DIMENSIONS ET VITESSES. *e*.
53.	**Tour** pour les rouleaux de pression.	J. Combe et Cie, à Belfast.	Axe du tour, 1000.	Largeur de l'outil = 0^m,025.	Hauteur des pointes du tour = 0^m,31. Diamètre des tourillons cylindriques = 0$_m$,0475. Diamètre de la pièce à tourner 0^m,138-0^m,270. D = 306.
54.	**Machine à canneler** combinée avec le tour, pour les rouleaux des métiers à filer.	Id.	Fraise, 3000, Axe du tour, 1000, Chariot de la fraise, 110 courses par minute.	Diamètre de la pièce à travailler = 0^m,068. Largeur, 2 × 0^m,023 = 0^m,046.	Diamètre de la fraise = 0^m,145. Course du chariot = 0,176. Hauteur des pointes du tour = 0,118. Ecartement = 0,180. D = 850 (poulie du chariot). D = 807 (poulie motrice).
55.	**Ventilateur** hélicoïdal (pour l'atelier d'espadage).	Id.	400.	—	Diamètre moyen du disque hélicoïdal = 0^m,94. Largeur des ailes à la circonférence, 0,31. Largeur des ailes au moyeu, 0.17. Angle d'inclinaison de ces ailerons, 40°. D = 211. *b* = 85.

TRAVAIL moyen dans une heure.	PRODUCTION effective dans une heure.	Force motrice en chevaux à la vitesse normale.			RAPPORT $\frac{k}{i}$	Force motrice moyenne en tenant compte des arrêts.	OBSERVATIONS.
		A vide.	En charge.	Différence.			
f.	*g.*	*h.*	*i.*	*k*	*l.*	*m.*	*n.*
0,60	—	0,27	**0,79**	0,52	0,66	**0,47**	Lorsque l'ouvrier tourne.
			0,90	0,83	0,92	**0,54**	Lorsque l'ouvrier polit le rouleau au papier verré.
0,60	—	0,85	**1,02**	0,17	0,17	**0,61**	Travaille depuis deux ans et demi.
1,00	—	—	**0,78**	—	—	**0,78**	Ce ventilateur était resté hors de service pendant un certain temps avant les essais.

RÉPONSE DE M. MAURICE LÉVY

A UNE NOTE

SUR LES ARCHES BIAISES DE M. DE LA GOURNERIE[1].

I. EXPOSÉ.

M. de la Gournerie a relevé un passage de la notice que j'ai présentée à l'appui de ma candidature à la chaire de mécanique à l'École polytechnique, comme une attaque non justifiée contre le cours de stéréotomie qu'il a autrefois professé à l'École.

Il y a répondu par une note dont voici le paragraphe premier. Je parlerai plus loin des autres paragraphes qui sont en dehors de la question :

« Dans la théorie des ponts obliques, on se propose de déterminer pour les lits une surface qui rencontre normalement l'intrados et dont tous les plans tangents soient perpendiculaires aux plans de tête. On montre que ces conditions conduisent à adopter un cylindre qui a pour directrice une trajectoire orthogonale aux sections de l'intrados par des plans parallèles aux têtes et dont les génératrices sont perpendiculaires à ces plans; enfin, on modifie cette surface de manière à rendre faciles la taille et la pose des voussoirs.

1. A cette note, que M. de la Gournerie destinait d'abord aux *Annales du Conservatoire*, il a substitué, sans m'en prévenir et après avoir lu la présente que je lui avais communiquée, le Mémoire qui a paru dans ce numéro des *Annales*. — Cette substitution ne me fera rien changer à ma première rédaction. Je désire qu'elle paraisse *in extenso* aux *Annales*, principalement parce que M. de la Gournerie l'a citée par extraits, ce qui n'en fait pas comprendre le sens.

« M. Lévy sans dire pourquoi, et même sans en prévenir, affranchit les lits de la condition de couper à angle droit les plans parallèles aux têtes, et les soumet à celle d'avoir pour lignes de joint, sur le cylindre d'intrados, des génératrices, parce que ces droites sont des lignes de courbure. Il se pose ainsi un problème dont personne, à ma connaissance, ne s'était occupé.

« La difficulté de ce problème consiste en ce que la génératrice de l'intrados rencontrant obliquement la courbe de tête, il peut paraître difficile de la prendre pour directrice d'une surface qu'on veut rendre normale à l'intrados et au plan de tête. M. Lévy résout la question en donnant un point singulier, ou sommet de cône à la surface du lit, au point A où la génératrice rencontre le plan de tête.

« Il importe de remarquer que, lorsque l'obliquité de l'arche est un peu grande, on établit des voussures près des têtes, et qu'alors la partie de la génératrice à laquelle appartient le point A disparaît. Dans ce cas, la difficulté n'existe pas. Si donc quelqu'un s'était occupé du problème que M. Lévy a cru devoir poser, loin de le déclarer insoluble, il eût donné immédiatement des tracés pour un cas étendu, qu'on peut rendre général en posant comme une règle l'établissement d'une voussure ou au moins d'un chanfrein [1].

« En résumé, personne ne s'est occupé du problème posé par M. Lévy ; personne ne l'a déclaré insoluble.

« Il me reste à montrer que l'enseignement de la stéréotomie à l'École polytechnique, en ce qui concerne les arches biaises, doit rester ce qu'il est, ou du moins qu'il n'y a pas lieu de le mettre en harmonie avec les idées exposées par M. Lévy. »

1. Qu'on me permette de faire observer, dès à présent, que tout cet alinéa de la réponse de M. de la Gournerie est absolument à côté de la question. — Il ne s'agit nullement, en effet, de *supprimer* la difficulté en supprimant, à l'aide de voussures, la forme cylindrique de la voûte biaise, mais de *résoudre* la difficulté en conservant à la voûte sa forme cylindrique qui est *la donnée même* du problème. Donc celui qui eût posé la règle générale d'une voussure ou d'un chanfrein n'eût par là déclaré le problème dont il s'agit, ni soluble ni insoluble ; car il ne l'eût pas abordé.

II. DISCUSSION.

L'erreur géométrique dont je parle au § II de ma notice est celle-ci: partant de ce principe de stéréotomie, que dans une voûte biaise les surfaces des lits des voussoirs doivent être normales: 1° à l'intrados; 2° aux deux plans de tête, j'ai déduit que l'on avait tort d'enseigner, comme on le faisait dans les cours de stéréotomie, que les lignes d'assises sur l'intrados doivent nécessairement être normales aux courbes de tête. Elles peuvent d'une infinité de manières, et mon appareil en est une preuve, rencontrer ces courbes sous des angles absolument quelconques sans cesser de satisfaire à la double condition sus-énoncée. Il suffit pour cela que les surfaces des lits aient des points singuliers coniques à leur rencontre avec chacune des deux courbes de tête[1].

Cette déduction n'est pas douteuse; car: 1° c'est un fait certain qu'on enseignait partout (au moins dans les cours que je connais) que les lignes d'assises doivent rencontrer les courbes de tête à angle droit; 2° c'est un fait non moins certain qu'elles peuvent les rencontrer sous des angles quelconques si on adopte pour lits des surfaces ayant chacune deux points coniques.

Aussi M. de la Gournerie ne porte-t-il pas la discussion sur ce point. Il la place tout entière sur le principe même de stéréotomie qui me sert de point de départ et que j'ai énoncé en commençant. Il soutient, en effet, qu'il ne suffit pas que les surfaces des lits soient normales à l'intrados et normales aux deux plans de têtes; qu'il faut en outre qu'elles soient orthogonales à *tous* les plans parallèles aux têtes; que c'est là une condition dont je m'affranchis « sans dire pourquoi et même sans en prévenir. »

Je dois donc suivre l'éminent professeur sur le terrain où il

1. L'importance de cette remarque consiste en ce qu'elle fait connaître une infinité de solutions nouvelles du problème des biais, et notamment celle que j'ai décrite en prenant pour lignes d'assises les génératrices et les sections droites du cylindre d'intrados, et qui a ceci d'intéressant, que le pont biais, vu extérieurement, semble appareillé absolument comme un pont droit, tout en satisfaisant à toutes les règles de l'art.

se place et réfuter sa thèse; prouver que les deux conditions que j'ai énoncées en commençant sont les seules prescrites, soit par la théorie, soit par les règles de la coupe des pierres, comme aussi ce sont les seules justifiées dans le cours même professé autrefois par M. de la Gournerie; tandis que la troisième condition, indiquée par lui comme nécessaire, est essentiellement facultative.

Ainsi il restera établi que, contrairement à ce que l'on enseignait, les lignes d'assises peuvent rencontrer les courbes de tête sous des angles absolument quelconques sans cesser de satisfaire à toutes les exigences de la stabilité et de la coupe des pierres.

La première proposition que j'ai à établir est celle-ci: rien dans le cours de M. de la Gournerie ne justifie la nécessité de la troisième condition (orthogonalité des lits à tous les plans parallèles aux têtes).

En effet, dans les considérations sur les poussées, que je trouve page 81 des feuilles autographiées de 1861-1863 du cours qu'il a professé à l'École, M. de la Gournerie part de ce principe: « qu'un monolithe taillé en voûte et posé sur ses deux appuis subsistera sans poussée sur ces appuis. »

Une théorie reposant sur cette idée n'est évidemment pas probante. Sans m'y arrêter, je prends l'argument fondamental de M. de la Gournerie:

« L'étude des pressions au moyen des lois de la mécanique, dit-il, montre que quand l'arche n'est soumise qu'à son propre poids, les actions moléculaires sont paralèlles aux plans de tête. Les raisonnements qui y conduisent sont longs et minutieux; mais, sans y avoir recours, on peut concevoir qu'il doit en être ainsi. En effet, si, par exemple, une plate-bande était appareillée par des plans obliques aux têtes, il est évident que les pierres tendraient à être chassées par les poussées des pieds-droits; il y aurait poussée au vide. D'où l'on conclut que dans une voûte les lits doivent être perpendiculaires aux plans de tête. »

« Perpendiculaires aux plans de tête, » je l'admets, parce qu'on peut le prouver par des raisonnements exacts; mais perpendiculaires à tous les plans parallèles aux têtes, je ne crois pas qu'on puisse le déduire d'une démonstration comme celle

qui précède, surtout si c'est pour en faire ensuite une des conditions *sine quâ non* de la solution *exacte* du problème des biais.

Or, c'est bien ainsi que M. de la Gournerie envisage cette condition dans son cours, où, page 84 des feuilles déjà citées, je trouve sous ce titre : *Solution exacte du problème des biais*, un paragraphe commençant par ces mots : « Peut-on satisfaire à la *double* condition d'avoir les lits normaux à l'intrados, en même temps que normaux aux plans des têtes et à *tous les plans parallèles?* » M. de la Gournerie regarde donc bien cette dernière condition comme caractéristique de la solution *exacte* du problème des biais; et il lui accorde si bien le même caractère obligatoire qu'aux deux premières, que des trois il ne fait qu'une condition *double*. — Cela n'est assurément pas justifié par la démonstration que je viens de reproduire.

La seconde proposition que j'ai à établir est celle-ci : tandis que la théorie (la théorie mathématique de l'élasticité elle-même) établit rigoureusement la nécessité des deux premières conditions, rien, dans cette théorie, ne justifie la nécessité de la troisième.

Au point de vue théorique, la règle générale est évidemment d'appareiller les voûtes chaque fois que cela est géométriquement possible, suivant des surfaces de lits ne supportant que des pressions normales. Or, il résulte de la théorie mathématique de l'élasticité qu'on peut toujours trouver sur l'intrados d'une voûte deux systèmes de courbes orthogonales telles que tout élément-plan tangent à l'une quelconque de ces lignes, et normal à l'intrados, supporte une pression normale[1] : d'où l'on conclut que les surfaces des lits rencontrent nécessairement l'intrados à angle droit. On établirait de même qu'elles doivent rester normales aux têtes.

Les deux premières conditions sont donc bien réellement des conséquences exactes de la théorie mathématique de l'élasticité : rien au contraire, dans cette théorie, n'indique la nécessité

1. Dans le cas particulier, où les surfaces isostatiques de M. Lamé existent à l'intérieur de la voûte, ces courbes orthogonales ne sont autres que les lignes de courbure de l'intrados. Donc, dans ce cas, la règle de Monge est exacte. — Dans tout autre cas, elle ne l'est pas. Cette remarque offre un certain intérêt.

de la troisième ; rien surtout n'y confirme la théorie de M. de la Gournerie de la transmission des poussées suivant les sections.

Et il n'est peut-être pas sans intérêt de faire ressortir ici qu'en démontrant rigoureusement les deux premières conditions et en ne donnant *a priori* aucun motif de croire à la nécessité de la troisième, la théorie mathématique de l'élasticité est en parfaite harmonie, d'une part, avec les règles de la coupe des pierres, et d'autre part avec le sentiment pratique des ingénieurs qui les porte à ne jamais négliger les deux premières conditions et à s'affranchir souvent de la troisième.

III. RÉSUMÉ.

En résumé, je crois avoir démontré :

1° Que les deux conditions que j'ai énoncées en commençant cette discussion (normalité des lits sur l'intrados et sur les deux plans de tête) sont les seules prescrites.

2° Que, pour satisfaire à ces deux conditions, il est parfaitement inutile que les lignes d'assises rencontrent, comme cela résultait des cours de stéréotomie, les courbes de tête à angle droit ; qu'elles peuvent les rencontrer sous des angles absolument quelconques ; qu'il suffit pour cela que la surface de chaque lit contienne deux points singuliers ; qu'il y avait donc sur ce point, dans l'enseignement, une inexactitude que j'étais en droit de mentionner.

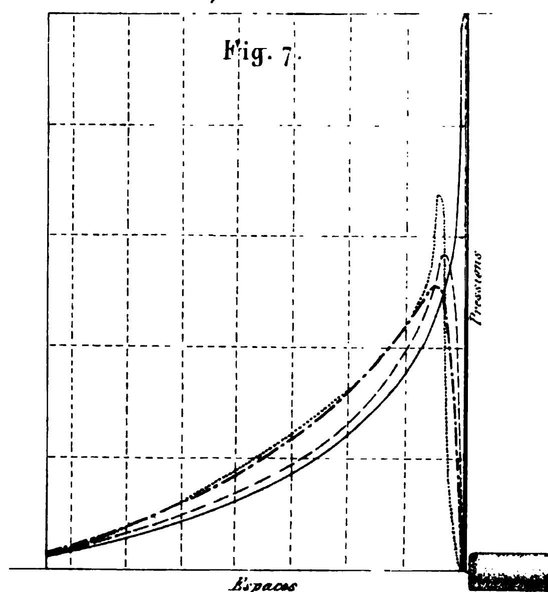
3° Que la troisième condition (orthogonalité des surfaces des lits à tous les plans parallèles aux têtes), que M. de la Gournerie donne comme nécessaire, est essentiellement facultative et qu'en enseignant que cette troisième condition est indispensable à « la solution exacte du problème des biais, » c'est-à-dire à la solution dont le principe, sinon les détails, doit être respecté d'une manière absolue dans la pratique, l'éminent professeur enseigne comme exacte une solution qui ne l'est ni plus ni moins qu'une infinité d'autres en usage dans des ouvrages existants et qu'une nouvelle infinité résultant de la remarque que j'ai faite.

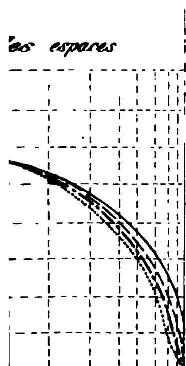
Il me reste une dernière observation à faire : je n'ai pas reproduit, au commencement de cette note, les six derniers paragraphes de celle de M. de la Gournerie. Ces six paragraphes sont consacrés à prouver qu'on ne doit pas dans l'enseignement substituer mon appareil à l'appareil hélicoïdal.

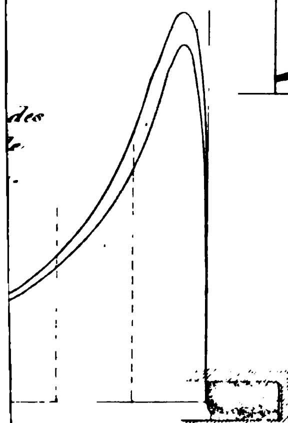
Cette discussion, M. de la Gournerie ne peut pas l'avoir entreprise pour me répondre ; car rien, dans ce que j'ai écrit, ne l'a provoquée.

Paris. — Imp. VIÉVILLE et CAPIOMONT, rue des Poitevins, 6.

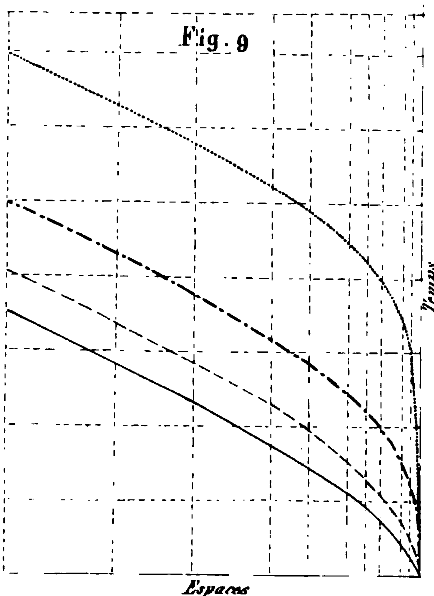
Courbes des pressions.



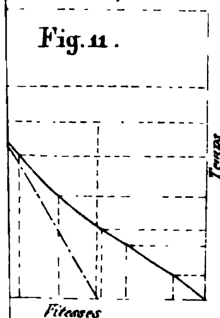




Courbes des temps et des espaces.



bes des vitesses et des temps



NOTE

SUR L'EFFET UTILE

DES MACHINES DE CORNOUAILLES

ET AUTRES MACHINES D'ÉPUISEMENT DES MINES

PAR M. J.-B. SIMPSON,

lue le 9 août 1870 à l'Association des Ingénieurs d'Écosse

PAR M. LE GÉNÉRAL MORIN.

MACHINE RÉCEMMENT ÉTABLIE A HEBBURN POUR LA COMPAGNIE HOUILLÈRE DE LA TYNE.

Cette machine est la première du système adopté en Cornouailles, qui ait été introduite dans le district de Newcastle.

Les données particulières qui s'y rapportent sont les suivantes :

Force nominale en chevaux.		250
Diamètre du cylindre.	70^{inc}	1^{m},77
Longueur de course dans le cylindre. . .	10^{pi}	3 ,05
— dans le puits	8^{pi}	2 ,440
Diamètre de la soupape d'introduction. .	12^{inc}	0 ,305
— d'équilibre . . .	13^{inc}	0 ,330
— d'évacuation. . .	16^{inc}	0 ,406
— pompe à air.	2^{pi}11^{inc}	0 ,889
Course du piston de cette pompe	4^{pi}04^{inc}	1 ,322
Diamètre de la soupape d'injection	5^{inc}.5 =	0 ,140

Cette machine fait marcher trois pompes à piston plongeur, ou pompes foulantes, et une pompe élévatoire à courte course.

			Diamètre.
Le premier équipage du piston plongeur avait:	69^m,50	de longueur et	0^m,533 au piston.
Le deuxième équipage	73 ,14	—	0 ,470
Le troisième équipage	65 ,84	—	0 ,470
La hauteur d'élévation par le piston élévatoire est de.	19^m,97	—	0 ,483

Le poids de la colonne d'eau est de 40140 kil. ou environ 40 tonnes.

Les tiges élévatoires ont 0^m,457 en carré pour les deux équipages supérieurs; pour le troisième, 0^m,305, et pour le piston élévatoire, 0^m,203. Toutes sont en bois de pin de Vancouver.

Il y a quatre chaudières des dimensions suivantes, pour le service de la machine :

Longueur, 10^m,37; diamètre du côté du foyer, 2^m,059; du côté de la cheminée, 1^m,754; diamètre du tube intérieur, variable de 1^m,296 à 0^m,686.

Trois suffisent pour entretenir la marche de la machine à neuf courses par minute.

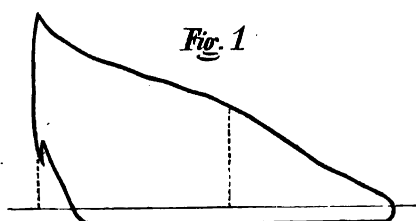
Les chaudières sont recouvertes par une toiture et par une couche de terre argileuse ordinaire de 0^m,305 d'épaisseur.

Le tableau suivant contient les résultats de plusieurs observations faites sur cette machine pour en constater l'effet utile.

Résultats des expériences sur la machine de Hebburn, système de Cornouailles.

DATES.	N° 1. Mai 1869.	N° 2. Août 1869.	N° 3. Avril 1870.	N° 4. Juillet 1870.	N° 5. Juillet 1870.
Durée des observations..................	24h.	12h.	84h.	12h.	24h.
Nombre de courses de la machine.........	10000	6076	40010	5062	10358
Courses par minute......................	7.00	8.44	7.93	7.03	7.19
Longueur des équipages de tiges.......... Diamètre des pistons....................	m. m. 69.50 0.470 84.41 0.470	m. m. 69.50 0.533 73.16 0.470 65.92 0.470	m. m. 69.50 0.533 73.16 0.470 65.84 0.470	m. m. 69.50 0.533 73.16 0.470 65.84 0.470 3.66	m. m. 69.50 0.533 73.16 0.470 65.84 0.470 10.97
Total............	153.91	175.58	208.50	212.16	219.47
Volume d'eau élevé en 1 minute..........	2926 lit.	4484	4246	3766	3852
Petit charbon consommé. Total...........	4976k	4126	28183	2945	5535
— par heure........	207.3	314.0	335.3	245.4	230.6
— en 24 heures......	4976	8252.0	8047.2	5890.0	5535
Effet utile.............................	92ch	150ch	265ch.46	149ch.16	154ch.73
Charbon consommé par cheval et par heure..	2k.22	2.26	1.99	1.63	1.36
Effet donné par l'indicateur.............	145ch.4	182ch	»	184ch.5	»
Charbon consommé par cheval correspondant et par heure......................	1.42	1.97	»	-1.33	»
Travail utile par unité de poids de charbon..	126740km	119900	185640	167000	175537
Rapport de l'effet utile à l'effet donné par l'indicateur..........................	0.630	0.825	»	0.87	»
Dépense annuelle pour un effet utile de 100 chevaux, le charbon étant estimé à 5 fr. °°/°° kil.	9700	10875	8725	7075	6425

Dans l'expérience n° 4 du tableau précédent, le travail de la vapeur était donné par le diagramme de l'indicateur, fig. 1.



L'introduction se fait jusque vers le milieu de la course; la pression initiale était de 2 kil. à 2k,11 par centimètre carré dans la chaudière, et, quand l'orifice était fermé, la pression n'était plus que de 0k,933, puis, après la détente, elle n'était que de 0k,070 à la fin de la course. Le vide moyen était de 0k,509, sur l'autre face du piston, et concourait à l'effet moteur. La course descendante était d'abord très-rapide, et quand la machine marchait à huit courses en 1′, elle était accomplie en 2″, tandis que la course ascendante durait 4″,5.

« On remarquera que la courbe du diagramme s'abaisse rapi-
« dement dès le commencement de l'introduction, et qu'il se
« produit une détente bien avant que l'orifice d'admission ne
« soit fermé. Cela indique que la proportion de la soupape d'in-
« troduction, qui est égale à $\frac{\overline{0,305}^2}{1,177^2} = \frac{1}{18,9}$, est trop faible, eu
« égard à la vitesse que prend le piston dès l'origine de sa
« course descendante. Cette vitesse, à l'origine, doit effective-
« ment être trop grande, puisque la vitesse moyenne est de
« $\frac{3^m,05}{2'',0} = 1^m,525$ en 1″. Peut-être aussi les tuyaux d'arrivée de
« la vapeur sont-ils trop petits ou trop longs, de sorte qu'une
« partie de la pression motrice est absorbée par les résistances.
« Quoi qu'il en soit, l'introduction de la vapeur, dans cette
« machine, ne paraît pas se faire dans de bonnes conditions. »

M. le professeur Pole a donné une observation exacte sur la

marche d'une machine de Cornouailles, fournissant huit courses de 3m,05 en 63″, l'admission de la vapeur étant interceptée au tiers. Les données étaient les suivantes :

Course descendante	1″,50.	Vitesse moyenne, 2m,03.
Intervalle entre la course descendante et la course ascendante	0 ,50	
Course ascendante	1 ,00	
Arrêt	2 ,00	
Total.	8″,00	

« On remarquera encore ici que la détente ne commence qu'au « tiers de la course, et que la vitesse moyenne de la course des- « cendante est de 2m,03. »

Dans les trois premières expériences du tableau précédent, la dépense de combustible, par heure et par cheval, a été en moyenne de 2k,16. On ajouta alors un long équipage de tiges élévatoires à celles du piston plongeur, et quand on fit agir le balancier pour élever ce poids additionnel, on trouva que la consommation du combustible était réduite de 2k,16 à 1k,63, ce qui correspondait à une économie de 16 0/0. En admettant une élévation d'eau de 800 gallons, 3634l,4 par minute, cela reviendrait à 490 tonnes ou 490 000 kilogrammes par an, ou, à raison du prix de 5 fr. par tonne de charbon, à une économie de 2 450 fr. par an. On a trouvé dans cette modification non-seulement une économie, mais on a obtenu, en outre, une marche plus régulière de la machine.

Les expériences n° 4 et n° 5 montrent qu'on a obtenu un effet utile de 167 000 kil. et de 175 537 kil., avec une consommation d'un kilogramme de charbon, et, d'après des observations faites pendant une longue période de temps, l'on a trouvé qu'avec du petit charbon ordinaire l'effet utile moyen était de 158 050 kil. par kilogramme de charbon brûlé, et la consommation par force de cheval d'effet utile, mesuré en eau élevée, de 1k,78 par heure. La comparaison, avec la mesure du travail moteur fourni par le diagramme de l'indicateur, correspondait à une consommation de 1k,63 par force de cheval et par heure.

La dépense annuelle, pour une machine d'un effet utile réel de 100 chevaux, d'après une consommation de $1^k,63$ par cheval et par heure s'élèverait, au prix de 5 fr. la tonne de charbon, à 288 livres = 7 075 fr. Ce résultat présente une économie par rapport aux autres machines comparées à celle de Hebburn; mais il y a, en outre, une autre économie dans la main-d'œuvre, attendu que cette machine n'exige qu'un chauffeur pour douze heures de marche, tandis qu'avec les machines ordinaires il en faudrait probablement trois.

Avant l'établissement de la machine d'Hebburn, l'auteur de cette note avait visité plusieurs des puissantes machines des mines de Cornouailles, et reconnu que la consommation moyenne de charbon était de $1^k,36$ par cheval et par heure et souvent moins dans des conditions défavorables.

Une machine établie à la mine de Wheal-Vor, ayant un cylindre de $2^m,159$ de diamètre et $2^m,745$ de course, conduisait douze équipages de pompes, disposés l'un au-dessus de l'autre, ainsi qu'il suit :

	Profondeur.	Diamètre du piston.
Un piston plongeur à	$73^m,16$	$0^m,381$
— à	54 ,87	0 ,381
— à	54 ,87	0 ,381
— à	54 ,87	0 ,343
— à	36 ,58	0 ,343
— à	36 ,58	0 ,343
— à	18 ,29	0 ,203
— à	18 ,29	0 ,203

A la profondeur de $268^m,86$, il y avait une transmission horizontale de $146^m,40$, communiquant le mouvement à un autre arbre, auquel était attaché un balancier faisant mouvoir les équipages de pompes suivants :

Un piston plongeur à	$102^m,42$
— à	43 ,90
Une pompe élévatoire à	$32^m,92$
— à	32 ,92

Les tiges descendaient verticalement jusqu'à la profondeur de

128^{m},03; mais au delà, elles suivaient la direction de la veine, qui était très-inclinée.

Il y avait plusieurs balanciers pour équilibrer le poids des équipages et les frottements. Ces balanciers compensaient environ 50 tonnes de ce poids.

La machine marchait à six courses par minute, et était alimentée par trois chaudières consommant environ 6,25 tonnes ou 6350 kil. de charbon par jour de vingt-quatre heures. L'effet utile correspondait à une consommation de 1^{k},81 par force de cheval et par heure ou à 149006 kilogrammètres par kilogramme de houille.

La machine la plus remarquable de ce genre était probablement celle de 2^{m},54 de diamètre au piston; mais elle n'existe plus. Les détails suivants sont extraits du *Journal des Mines*, du 25 février 1860.

Cette machine fournissait en moyenne cinq courses trois quarts par minute, et un effet utile de 190750 kilogrammètres par kil. de charbon brûlé. Les détails suivants permettent d'apprécier l'énorme travail qu'elle accomplissait. Quatorze équipages de pompes, dont la longueur totale était de 697^{m},85, y étaient attachés. Le volume d'eau élevé par ces pompes, à chaque course, était de 73^{mc},90. Le poids total de la masse mise en mouvement, à chaque course, y compris les tiges et leurs contre-poids, s'élevait au chiffre énorme de 384 tonnes.

Le détail suivant des équipages de pompes suspendus à cette grande machine aura certainement de l'intérêt pour les praticiens.

	Profondeur.	Diamètre.
1er piston plongeur	51^{m},21	0^{m},407
2e —	64 ,01	0 ,381
3e —	64 ,01	0 ,381
4e —	62 ,19	0 ,381
5e —	73 ,16	0 ,381
6e —	43 ,90	0 ,381
7e —	54 ,27	0 ,381
8e —	36 ,53	0 ,381
9e —	40 ,24	0 ,381
10e —	40^{m},24	0 ,420

Dans une galerie de 318^{m},25, de niveau, il y avait 190 mètres de tiges plates reliées aux tiges élévatoires d'un autre puits descendant à sec à une profondeur de 432 mètres, profondeur à laquelle l'eau s'écoulait dans le puits principal. Deux équipages de pompes étaient mus dans ces conditions, savoir :

A 21^{m},95 avec des pistons élévatoires de.	0^{m},29
A 51 ,21 —	0 ,29

On peut se rendre compte de la force énorme et du poids de ces tiges, fonctionnant dans un tel puits, d'après les circonstances suivantes :

Les tiges étaient doubles, depuis la surface jusqu'à la profondeur de 238 mètres et avaient 0^{m},407 d'équarrissage, réduites à 0^{m},305, à la profondeur de 238 mètres. A partir de cette hauteur, la tige était simple; son équarrissage variait de 0^{m},407 jusqu'à 0^{m},305 vers le fond.

Un autre spécimen de ce modèle de machine a été récemment établi à Walsend pour concourir à l'épuisement des houillères inondées de la Tyne; mais il n'a pas encore été mis en service. Les données qui s'y rapportent sont les suivantes :

Force nominale	500 chevaux
Diamètre du cylindre	2^{m},54
Poids du cylindre, avec ses boîtes, etc.	46 tonnes.
Longueur de course dans le cylindre et dans le puits.	3^{m},355
Longueur du balancier	10 ,98
Hauteur —	2^{m},135
Poids —	40 tonnes.
Diamètre de la soupape à vapeur	0^{m},381
— — d'équilibre	0 ,533
— — d'évacuation	0^{m},686
— de la pompe à air.	1^{m},156

Cette machine doit être munie de pompes de 0^{m}.685 de diamètre, et, à la vitesse de 8,5 courses en 1', élever environ 9^{mc},080 par minute, d'une profondeur de 227 mètres, ce qui revient à un effet utile de 450 chevaux.

Les tiges de pompes avaient 0^{m},610 sur 0^{m},508. Le bâtiment, qui est disposé pour recevoir deux machines de cette dimen-

sion, est entièrement construit en briques rouges et en ciment de Portland, au lieu de la maçonnerie en pierre, assez dispendieuse, ordinairement employée.

L'utilité des machines de Cornouailles, pour les machines hydrauliques, semble généralement reconnue aujourd'hui, et depuis que Wicksteed, il y a environ vingt-cinq ans, les a introduites à l'usine hydraulique d'Old Ford, à Londres, elles sont devenues en faveur.

A l'usine de East London Water Works seulement, il n'y a pas moins de sept grandes machines de Cornouailles, avec des cylindres dont les diamètres varient de $1^m,829$ à $2^m,540$.

MACHINES COMPOSÉES.

De nombreuses discussions se sont élevées parmi les ingénieurs sur la valeur des machines de Cornouailles, comparée à celle des machines diverses à haute ou à basse pression, à mouvement rotatif, au point de vue de l'élévation des eaux.

La machine de ce dernier type, établie à l'usine hydraulique de Lambeth et Chelsea, par MM. Simpson et Cie, passe pour avoir réalisé l'effet utile considérable de 303 428 kilomètres par kilogramme de charbon, correspondant à une consommation de houille de $0^k,89$ par force de cheval et par heure.

L'auteur n'a pas encore entendu dire que ce système de machines ait été employé dans les mines, depuis Woolf et Hornblower. Le mouvement uniforme qu'il communique aux tiges des pompes dans les puits, comparé à la rapidité de la course ascendante dans les machines de Cornouailles, peut être d'une influence favorable; mais l'auteur ne se regarde pas comme suffisamment édifié sur la question de savoir si l'excédant de son prix d'établissement est compensé par cet avantage, joint à une économie considérable dans son service.

L'on va faire connaître, dans ce qui suit, les formes ordinaires des machines d'épuisement employées dans le district de Newcastle[1].

1. La machine à vapeur a été introduite au commencement du siècle dernier, pour l'épuisement des mines de houille du rayon de Newcastle. La première fut établie à Oxclose; la seconde à Norwood, près Ravensworth, et la troisième à

MACHINE DE BOULTON ET WATT.

Il existe encore en service plusieurs machines de ce système, et quelques-unes d'entre elles ont subi à peine de légères modifications depuis leur établissement. Elles sont ordinairement à simple effet, à basse pression et à condensation. Le balancier est en bois ; la tige du piston et celle des pompes sont suspendues par des chaînes en fer. Les chaudières y sont de la forme dite en chariot.

A la mine de houille de Coxlodge, il y en a deux en service. L'une a été établie en 1811, et fut apportée de la mine de Walkes où elle avait été d'abord élevée en 1796. On dit que la première machine de Boulton et Watt avait été installée à Bykir, qu'elle y avait échoué, et que la machine dont nous parlons ici fut la première qui ait réussi dans le district de Newcastle.

Ce qui suit est relatif à une machine de ce système, qui a fonctionné jusqu'en 1869, pendant plus de 60 ans, et qui était dans les conditions suivantes :

Diamètre du cylindre.		1^{m},613
Course dans le cylindre et dans le puits.		1 ,830
4 Equipages de pompes suspendus à l'extrémité de l'arbre en bois, dont		
1 puisant à la profondeur de	82^{m},82	0^{m},279
1 — —	27 ,43	0 ,432
1 — —	49 ,38	0 ,305
1 — —	49 ,38	0 ,305

La vapeur était admise dans le cylindre à la pression de 4^{k},158 au-dessus de la pression atmosphérique au sommet du cylindre,

Byker, en 1714. En 1720, son usage était devenu plus répandu. Ces machines étaient établies sur le principe de celles de Newcommen, c'est-à-dire avec un cylindre ouvert en dessus. Le vide était produit en dessous, par une injection d'eau froide dans le cylindre, et réalisait une pression effective de 0^{k}.28 à 0^{k}.35 par centimètre carré du piston. En 1769, il y avait 90 machines employées à élever l'eau, ayant des cylindres de différents diamètres, dont le plus grand existant à Banwill avait 1^{m}.90 de diamètre.

et avec l'aide du vide elle élevait les équipages de tiges et l'eau hors du puits. Le poids des tiges était suffisant pour les ramener dans le puits.

La machine marchait à dix courses par minute et consommait dix tonnes de charbon par vingt-quatre heures. La quantité d'eau élevée, déduite du calcul, était de $4^{mc},934$ par minute, ce qui correspondait à un effet utile de $81^{ch},86$. Le travail moteur, déduit du diagramme, était de $87^{ch},45$.

Le rapport est : $\frac{81,86}{87,45} = 0,93.$

La dépense pour le charbon, d'après ces données, serait de 22 275 fr. par an.

A l'époque où les observations précédentes ont été faites, les pompes étaient en mauvais état ; plusieurs étaient usées et les joints n'étaient pas étanches, de sorte qu'il y avait de grandes fuites qui, par conséquent, rendaient l'effet utile réel moindre que celui qu'on déduisait du calcul.

Le rendement de la machine aurait été, d'après les données, de 93 0/0 ; mais, probablement, par les causes précédentes, il n'excédait pas 80 0/0. L'effet déduit du diagramme est par conséquent le seul élément de comparaison avec les autres machines que l'on puisse employer.

Il existe maintenant divers modèles de la machine de Boulton et Watt, quelques-unes à double effet, avec deux balanciers, d'autres à double effet, avec un seul balancier ; les unes à condensation, les autres sans condensation, et l'auteur s'est proposé, dans cette note, d'en décrire quelques-unes des dispositions les plus usitées.

MACHINES A DEUX BALANCIERS ET A CONDENSATION, NON ROTATIVES.

Ces machines sont établies pour fonctionner dans deux puits, afin de partager et d'équilibrer les charges. Les données de l'une d'elles sont les suivantes :

Elle a un cylindre de $1^{m},955$, avec une course de $2^{m},972$ dans le cylindre et de $2^{m},362$ dans le puits. Elle travaille avec un peu de détente et est à double effet avec condensation. A l'extrémité du balancier est lié un équipage de pompe à plongeur de $61^{m},27$ et de $0^{m},720$ de diamètre, qui est alimenté avec l'eau

élevée par deux autres équipages situés au-dessous et ayant chacun 54^{m},87 de hauteur d'élévation, et ayant l'un, 0^{m},508, et l'autre, 0^{m},432 de diamètre. L'extrémité du balancier de la machine est liée à un autre balancier, qui conduit un équipage de 115^{m},33 de hauteur d'élévation et de 0^{m},355 de diamètre.

Cette machine, marchant à la vitesse de cinq courses et demie à la minute, et élevant 6^{mc},696, emploie quatre chaudières cylindriques ordinaires, ayant chacune 9^{m},76 de longueur et 1^{m},83 de diamètre.

En douze heures, la consommation de petit charbon est de 9 500 kil.

L'effet utile, réel, de la machine est ainsi de 161^{ch},65, et la consommation de 4^{k},94 par cheval et par heure. Le travail moteur déduit du diagramme est de 202^{ch},94, et la consommation correspondrait à 3^{k},94 par cheval.

La dépense annuelle, pour une force de 100 chevaux, correspondrait à 21 350 fr.

MACHINE SANS CONDENSATION A DOUBLE BALANCIER.

Diamètre du cylindre	1^{m},117
Longueur de la course dans le cylindre et dans les puits	2 ,03

Un équipage de pompes à plongeur de 69^{m},50 de longueur et de 0^{m},476 de diamètre à l'une des extrémités du balancier extérieur élève l'eau pour celui de l'autre extrémité du balancier, lequel, par des tiges de 64 mètres et des pistons élévatoires de 0^{m},476 de diamètre, l'amène à la surface du sol.

La consommation de charbon en 24 heures, à la vitesse moyenne de 5 courses par minute, est de 5 409 kil. en élevant 1^{mc},749 en 1', et correspondant à un effet utile de 50^{ch},10, et à une consommation de 5^{k},48 par heure et par cheval.

Le diagramme indique un travail moteur de 60^{ch},70 et une consommation de 3^{k},62 par cheval et par heure.

La distribution de vapeur dans cette machine est très-bien réglée, car la pression moyenne sur l'une des faces du piston est de 1^{k},53 par cent. carré, et sur l'autre de 1^{k},52.

Deux chaudières du système de Cornouailles, ayant 9^{m},15 de

longueur et 1^{m},745 de diamètre, avec un tube de 0^{m},915 de diamètre, suffisent pour cette machine.

La dépense annuelle de charbon, à 5 fr. la tonne, pour une force de 100 chevaux, serait de 19 075 fr.

MACHINE A SIMPLE BALANCIER, SANS CONDENSATION.

Ce dispositif de machine est aussi fort employé.

Les données particulières sont les suivantes :

Diamètre du cylindre			1^{m},22
Longueur de course			2 ,44
Un piston plongeur à	76^{m},82	Diamètre	0 ,533
Un piston élévatoire à	54 ,87	—	0, 254

suspendus tous deux au balancier.

Quand la machine marche à 3,5 courses en 1′, et élève 1^{mc},889 par minute, la consommation de charbon est, en 24 heures, de 7 924 kil.

La force effective en chevaux est de 29^{ch},34 et la consommation de 11^{k},25 par force de cheval et par heure.

D'après le diagramme, la consommation ne serait que de 9^{k},42 par force de cheval et par heure.

Il y a lieu de remarquer que, dans cette machine, les soupapes ne sont pas en bon état, et que les équipages ne sont pas convenablement équilibrés.

MACHINE A SIMPLE BALANCIER, A CONDENSATION.

Le diamètre du cylindre		2^{m},08
La longueur de course est, dans le cylindre		2 ,592
— — dans le puits		2 ,364
Il y a trois équipages de pistons plongeurs à la profondeur de	98^{m},77	
et du diamètre de		0 ,321
et une pompe élévatoire à	96^{m},94	
et du diamètre de		0 ,305

La machine consomme, en 24 heures, 21 539 kil., en marchant à la vitesse moyenne de 3 courses en 1′. Sa force effective est

alors de 69 chevaux et sa consommation de 12^{k},91 par heure et par force de cheval.

Il n'a pas été possible à l'auteur d'obtenir des diagrammes d'indicateur; mais il pense que l'une des causes du mauvais résultat obtenu de cette machine est le défaut d'équilibrage des équipages des pompes.

Elle emploie quatre chaudières de 9^{m},15 de longueur sur 1^{m},830 de diamètre pour son alimentation de vapeur.

Si elle travaillait à la puissance de 100 chevaux effectifs, la dépense en charbon s'élèverait à 55850 fr. par an.

Comparaison de l'effet utile réel au travail moteur déduit du diagramme de l'indicateur.

Le tableau récapitulatif des observations de M. Simpson fournit la valeur du rapport de ces deux appréciations de l'effet utile pour les machines étudiées.

	RAPPORT de l'effet utile réel au travail indiqué par les diagrammes.
Machine de Cornouailles, à Hebburn.	0 ,807
— Boulton et Watt.	0 ,936
— à deux balanciers, non rotative, à condensation.	0 ,796
— à deux balanciers, non rotative, sans condensation.	0 ,811
— à simple balancier, non rotative, sans condensation.	0 ,838
— à simple balancier, avec pompes aux extrémités et condensation à action directe.	0 ,674
— à simple balancier, non rotative, à condensation.	0 ,849
— horizontale rotative, à condensation. . .	0 ,840
— — sans condensation. .	0 ,827
— — — .	0 ,827

Il est remarquable que, pour ces machines si diverses, les frottements et les autres causes de perte de travail réduisent à peu près dans la même proportion le rapport de l'effet utile, réel

(mesuré par le produit du poids de l'eau élevé et de la hauteur d'élévation) au travail moteur, déduit du diagramme, et qu'on obtienne pour la valeur moyenne de ce rapport la valeur 0,827 à peu près, comme pour les autres machines à vapeur.

La machine du Boulton et Watt, parfaitement entretenue, arrivée à un état de régularité et de poli parfait de tous ses organes, a donné pour ce rapport la valeur 0,936, que l'on obtient quelquefois dans les machines très-bien montées et conduites.

La machine à action directe, qui n'a donné que la valeur 0,674, laissait sans doute à désirer sous le rapport du montage ou de l'entretien.

RÉSUMÉ.

Le tableau suivant donne le détail des dimensions des diverses machines observées, celles des pompes, le nombre des chaudières, etc., et, pour en déterminer l'effet utile, la quantité d'eau élevée à chaque course par les pompes élévatoires et les pistons plongeurs, d'après le calcul.

L'auteur n'a pas été à même de faire des expériences sur le volume d'eau réellement fourni par les pompes; mais des observations sur trois dimensions de pistons plongeurs ont donné les résultats suivants :

Diamètre des pistons.	Courses.	Volume d'eau calculé.	Volume d'eau mesuré.	Différence.	Proportion de la perte pour 100.
m.	m.	lit.	lit.		
0.470	2.032	344.5	333.9	»	2.52
0.508	2.235	452.9	438.4	»	2.20
0.635	2.514	799.6	781.4	»	2.27
			Moyenne...........		2.52

CONSÉQUENCES GÉNÉRALES DU MÉMOIRE DU D[r] J.-B. SIMPSON.

Le résultat le plus saillant de ce mémoire est relatif à la dépense en argent qui serait faite par chacun des systèmes de machine comparés.

NUMÉROS.	SYSTÈME DE MACHINE.	DÉPENSE annuelle pour 100 chevaux	RAPPORT à la dépense de la machine de Cornouailles	DURÉE en service.
		fr.		ans.
1	Machine de Cornouailles, à Hebburn...	7 075	1.00	5
2	— de Boulton et Watt..........	22 270	3.14	60
3	— à deux balanciers, non rotative, à condensation...........	21 350	3.01	25
4	— à deux balanciers, sans condensation..................	19 075	2.69	20
5	— à simple balancier, sans condensation..................	48 500	6.85	20
6	— Id. à condensation....	55 850	7.89	25
7	— à simple balancier, avec pompes aux deux extrémités, à condensation..............	50 357	7.12	15
8	— à action directe............	19 025	2.69	7
9	— horizontale rotative, à condensation..................	21 225	3.00	2
10	— Id. sans condensation.	24 425	3.47	3
11	— Id. id........	33 225	4.69	2

On voit, par ce tableau, que la construction des machines d'épuisement employées dans les mines d'Écosse laisse beaucoup à désirer, et qu'il est singulier que, dans un pays calculateur, on soit aussi arriéré, pour ces machines puissantes, dont la consommation de combustible donne lieu à des dépenses considérables, quoique, en raison de sa qualité, on ne l'estime qu'à 5 fr. la tonne.

Il y a telle machine (celle n° 6 du tableau) à simple balancier et à condensation qui occasionne une dépense annuelle de 55 850 fr., au lieu de 7 075 fr. qu'exige celle de Cornouailles, et qui, depuis 25 ans qu'elle fonctionne, a dépensé, en combustible, 1 219 325 fr. de plus qu'il n'eût été nécessaire.

NOTE

SUR L'ESPACE CUBIQUE ET SUR LE VOLUME D'AIR

NÉCESSAIRES

pour assurer la salubrité des lieux habités,

PAR M. LE GÉNÉRAL MORIN.

L'étude que je présente aujourd'hui m'a été inspirée par la lecture d'un Mémoire publié à Édimbourg, en 1867, par M. le docteur F. de Chaumont, chirurgien militaire, professeur adjoint d'hygiène à l'école médicale de l'armée anglaise, Mémoire intitulé : *De la ventilation et de l'espace cubique.*

En reliant les résultats des observations du savant chirurgien anglais avec les belles recherches de M. F. Le Blanc sur la composition de l'air confiné, il m'a paru que l'on pouvait en déduire des indications utiles pour les progrès de l'hygiène publique, à laquelle nos diverses administrations civiles ou militaires continuent d'accorder trop peu d'importance.

Quoique l'acide carbonique soit le gaz qui, dans tous les lieux habités, détermine inévitablement l'une des altérations les plus graves de l'air, l'action des vapeurs et des autres gaz produits par les émanations cutanées contribue aussi, bien souvent, à augmenter l'insalubrité et le malaise qu'il occasionne. Les expériences des chimistes nous permettent d'apprécier approximativement le volume d'acide carbonique qu'un individu sain, à l'état normal, peut développer par heure ; mais elles ne nous apprennent malheureusement rien quant aux autres émanations, et la science physiologique est encore muette sur l'action que ces matières indéfinissables exercent sur l'organisme.

Tout ce que nous savons, c'est que ces émanations semblent

croître, sinon dans la même proportion, au moins dans le même sens que le volume du gaz carbonique, et que l'odeur désagréable et parfois nauséabonde qu'elles produisent augmente de même.

M. F. Le Blanc, dans son remarquable Mémoire de 1842, intitulé : *Recherches sur la composition de l'air confiné*, s'exprime dans les termes suivants :

« Sans vouloir nier que diverses causes puissent concourir à « rendre insalubre une atmosphère limitée, il faut reconnaître « comme un fait d'expérience que la proportion d'acide carbo- « nique dans les lieux habités et fermés, presque toujours ap- « préciable, croît avec le degré d'insalubrité et peut en fournir, « pour ainsi dire, la mesure. »

Mais la détermination de la proportion d'acide carbonique contenue dans l'air exige des expériences spéciales, tandis que la présence des matières organiques, qui altèrent la pureté de l'air, nous est directement révélée par nos sens.

Sous ce rapport, les impressions de l'organe de l'odorat peuvent fournir, dans certaines limites, un indice probable de la salubrité.

Cette opinion, qui a été émise il y a déjà quelques années, par M. Boussingault, au sein de l'Académie des sciences, paraît avoir reçu une confirmation assez remarquable par les observations suivantes dues à M. le docteur F. de Chaumont, chirurgien de l'armée anglaise, qui les a consignées dans sa notice sur *la ventilation et l'espace cubique*[1] imprimée en 1869. L'auteur montre, dans le tableau suivant, la corrélation qui existe entre la proportion d'acide carbonique contenu dans l'air et les sensations de l'organe de l'odorat.

1. On ventilation and cubic space, by staaf surgeon, F. de Chaumont, assistant professor of hygiene, army medical school, Netly. Édinburg, 1869.

PROPORTION d'acide carbonique.	IMPRESSION DE L'AIR SUR L'ODORAT.	OBSERVATIONS.
0.001408	Excessivement vicié et nauséabond.	L'auteur anglais se sert pour exprimer le degré d'altération de l'air du mot *closeness*, qui n'a en français d'équivalent que celui d'air renfermé, également impropre. Le vrai sens qu'il m'a paru convenable de lui attribuer est celui d'*air vicié*.
0.001200	Très-vicié.	
0.001154	Excessivement vicié et nauséabond.	
0.001090	Excessivement vicié.	
0.001072	Très-vicié.	
0.000962	Très-vicié.	
0.000921	Vicié.	
0.000860	Un peu vicié (observation de jour).	
0.000843	Un peu vicié.	
0.000820	Un peu vicié.	
0.000804	Très-vicié.	
0.000804	Vicié.	
0.000759	Peu désagréable, légère odeur.	
0.000697	Un peu vicié.	
0.000658	Peu vicié.	
0.000642	Peu vicié.	
0.000568	Sans altération.	

L'auteur de ces observations fait remarquer que les impressions signalées, malgré quelques divergences entre elles, semblent suivre une marche régulière, et qu'elles ont d'ailleurs été consignées à différents moments, mais toujours avant que la proportion de l'acide carbonique contenu dans l'air ait été connue. Il ajoute que quelques-unes de ces différences peuvent être attribuées à ce que l'observateur n'entrait pas toujours directement dans le local, en venant de l'extérieur, ce qui eût été désirable, parce qu'alors le sens de l'odorat est bien plus impressionnable.

Il pense, d'après ces expériences, qu'il est permis de conclure que, quand l'air des salles ne contient pas plus de 0,0006 de son volume d'acide carbonique, l'odeur causée par la présence des matières organiques est imperceptible dans beaucoup de cas, et que cette proportion doit être regardée comme correspondant au minimum de pureté acceptable de l'air.

Des proportions d'acide carbonique contenues dans l'air des lieux habités.

Les chimistes admettent en général qu'à l'état normal l'air, regardé comme pur, contient une proportion d'acide carbonique

comprise entre 0,0004 et 0,0006[1]. Pour les calculs nécessairement approximatifs que nous nous proposons de faire, nous supposerons que cette proportion soit $\frac{1}{n} = 0,0005$.

D'une autre part, les expériences les plus récentes conduisent à évaluer à 38 grammes le poids de l'acide carbonique qu'un homme ordinaire expire par heure. La pesanteur spécifique de ce gaz étant 1,524 fois celle de l'air, qui, à zéro, pèse $1^{k},298$ le mètre cube, le volume d'acide carbonique expiré par heure et ramené à zéro peut être évalué à $\frac{0^{k},038}{1,298 \times 1,524} = 0^{mc},020$. C'est la valeur généralement admise.

Mais, outre le gaz acide carbonique que l'acte de la respiration introduit dans l'air, et qui tend à en altérer la salubrité, il s'y développe aussi incessamment de la vapeur d'eau qu'il importe de n'y pas laisser accumuler.

Les observations exécutées dans plusieurs casernes occupées par des soldats jeunes et en bonne santé, par M. F. Le Blanc, pour une Commission[2] formée par M. le Ministre de la guerre dans le but de constater l'état de salubrité de ces locaux, ont fourni les résultats résumés dans le tableau suivant :

DÉSIGNATION de la CASERNE.	Capacité de la chambre.	Nombre d'hommes.	Espace cubique par homme.	Durée du séjour.	Proportion d'acide carbonique dans l'air.	Proportion de vapeur par mètre cube à 15°.	Volume de vapeur correspondant à un homme par heure de séjour.
	mc.		mc.	h. m.		gr.	mc.
De l'Assomption.	341	25	15.6	10 15	0.0032	7.67	0.0132
Rue de Babylone.	600	52	11.54	10 45	0.0034	7.08	0.0092
Quai d'Orsay...	94	11	8.54	10 00	0.0088	7.60	0.0146
							0.0123

On remarquera que, par suite de la clôture des chambres et de l'absence du renouvellement de l'air, la proportion d'acide

1. *Traité de Chimie* de M. Cahours, 1er volume, page 129 ; M. Leblanc admet la proportion de 0.0006 (*Annales de Chimie*, 3e série, t. V, page 231.

2. Cette Commission était composée de MM. le général Schramm, président; Genty de Bussy, intendant militaire, Cathala, colonel du génie, Boussingault (de l'Institut), Brault et Moizin, médecins militaires, et F. Leblanc, rapporteur. (*Annales de Chimie et de Physique*, t. XXV.)

carbonique dans ces chambres a dépassé de beaucoup celle de l'air normal, ce qui met en relief le défaut de proportion de ces locaux où le nombre d'hommes devrait être réduit du tiers, au moins, afin d'allouer à chacun environ 16 à 20 mètres d'espace.

Quant au volume de vapeur dû à la présence de chaque homme et rapporté à une heure de séjour, et qui est en moyenne de $0^{mc},0123$ supposé à 15°, s'il est notablement inférieur à celui de $0^{mc},0433$, qui résulte des expériences de M. Dumas, la différence doit être attribuée à ce qu'une partie de la vapeur dégagée se condensait sur les murs, et le volume des $0^{mc},0123$ peut être regardé comme celui qu'il faudrait évacuer par heure au moyen d'une ventilation continue.

D'après les données précédentes, les volumes des gaz et des vapeurs nuisibles à la salubrité, exhalés par heure et par individu sain, seraient :

Acide carbonique	$0^{mc},0200$
Vapeur d'eau entraînant les autres émanations cutanées	$0\ ,0123$
Total . . . . . $m =$	$0^{mc},0323$

Nous prendrons en moyenne $m = 0^{mc},030$.

En partant de ces données, on peut se proposer de résoudre le problème suivant :

Quel est le volume d'air qu'il faut introduire dans un local habité par un homme pour y entretenir un état de salubrité suffisamment voisin de celui de l'air extérieur ?

Appelons E l'espace cubique occupé par l'homme.

$\frac{1}{n} = 0,0005$ la proportion normale moyenne d'acide carbonique contenu dans l'air qu'on regarde comme pur ;

$m = 0^{mc},030$ le volume moyen du mélange d'acide carbonique ($0^{mc},020$) et de vapeur ($0^{mc},010$) qu'il faut, dans les cas ordinaires, extraire par heure et par individu ;

Pour les hôpitaux, il conviendra de faire $m = 0^{mc},040$ au moins, et $m = 0^{mc},060$ pour ceux des femmes en couches et des blessés ;

x le volume d'air à extraire et à introduire par heure et par individu pour que la proportion d'air vicié ou d'acide carbonique ne dépasse pas une valeur $\frac{1}{n'}$, déterminée par l'observation, et que nous prendrons égale à 0,0008 au plus, limite à laquelle se manifeste déjà, dans les lieux habités, une certaine odeur, d'après les observations de M. de Chaumont;

Le volume d'acide carbonique contenu dans l'espace E sera :

$$\frac{1}{n} E = 0{,}0005\ E.$$

Le volume de gaz ou de vapeur développé par la respiration :

$$m = 0^{mc}{,}030.$$

Le volume x d'air neuf à admettre fournira, en acide carbonique : $\frac{1}{n} x = 0{,}0005\ x$.

Le volume x d'air vicié à extraire en soutirera :

$$\frac{1}{n'} x = 0{,}0008\ x.$$

Le volume total d'acide carbonique contenu dans l'espace E, sous l'action d'une ventilation et d'émanations continues, sera :

$$\frac{1}{n} E + m - x \left(\frac{1}{n'} - \frac{1}{n}\right);$$

et si son rapport au volume E de l'espace occupé doit être constant et égal à $\frac{1}{n'}$, on aura :

$$\frac{1}{n} E + m - x \left(\frac{1}{n'} - \frac{1}{n}\right) = \frac{1}{n'} E,$$

ou :

$$m - E \left(\frac{1}{n'} - \frac{1}{n}\right) = x \left(\frac{1}{n'} - \frac{1}{n}\right);$$

d'où

$$x = \frac{m - E\left(\frac{1}{n'} - \frac{1}{n}\right)}{\frac{1}{n'} - \frac{1}{n}}.$$

En introduisant dans cette formule les données précédentes, on trouve pour

E =	10mc	12mc	16mc	20mc	30mc	40mc	50mc	60mc
x =	90	88	84	80	70	60	60	40

L'on voit que, plus le volume des lieux habités augmente, plus celui de l'air à renouveler pour y entretenir un degré déterminé de salubrité diminue, mais qu'il croît à l'inverse à mesure que l'espace cubique alloué par personne est moindre.

Casernes. Ainsi, l'espace alloué, dans nos casernes, au soldat, et qui, d'après les proportions normales réglementaires, n'est que de 10 à 12 mètres cubes par homme, exigerait, pour le maintien de la pureté de l'air à 0,0008 d'acide carbonique, un renouvellement d'air de 88 mètres cubes par heure et par individu, ou de 8 à 9 fois par heure.

Il n'y a donc pas lieu de s'étonner de l'impression désagréable que l'on éprouve quand on entre le matin dans les chambres de caserne de nos soldats, où il n'existe aucune ventilation régulière autre que celle qui se produit par les cheminées ordinairement sans feu.

Dans les casernes anglaises, l'espace cubique alloué à chaque homme est de 16mc,98, et le volume d'air renouvelé est fixé à 85 mètres cubes par heure et par homme. C'est, comme on le voit, le chiffre déduit de la formule précédente.

Chambres à coucher. Une pièce, qui a cette destination, pour une seule personne, et qui a 4 mètres de largeur sur 5 mètres de longueur, et 3 mètres de hauteur, ou 60 mètres cubes de capacité, est généralement considérée comme suffisamment grande, et cependant, pour y entretenir le degré de salubrité indiqué plus haut et désirable, il faudrait y faire circuler 40 mètres cubes d'air par heure. Or, il n'est aucune personne en bonne santé qui, en rentrant le matin dans sa chambre, après en être un instant sortie, ne soit impressionnée par l'odeur plus ou moins sensible qui s'y est répandue s'il n'y a pas eu de ventilation.

Mais si, au lieu de n'être occupés que par une seule personne, les locaux le sont, au contraire, par plusieurs, les causes d'in-

fection augmentent dans une proportion rapide, même quand il s'y produit un renouvellement d'air sensible.

Pour que la proportion d'acide carbonique et de vapeur ne dépassât jamais alors 0,0008, il faudrait, comme on peut le faire voir aisément à l'aide de la formule précédente, que le volume d'air renouvelé fût de 540 mètres cubes, ce qui correspondrait à un renouvellement complet produit neuf fois par heure.

En proposant de régler les proportions des cheminées, de manière qu'elles puissent produire, avec un feu modéré, un renouvellement de cinq fois par heure, je suis donc resté au-dessous de ce qu'exigerait, pour le cas précédent, les conditions d'une salubrité convenable, si le séjour de six personnes devait être prolongé.

A l'appui de cette opinion, je puis citer l'une des plus importantes expériences de M. Le Blanc.

Expérience sur une chambre à coucher occupée la nuit par deux personnes. Cette chambre avait une capacité de 81 mètres cubes, ce qui n'allouait, par personne, que $40^{mc},50$, proportion très-faible. Mais elle était pourvue d'une cheminée dans laquelle le feu avait été en activité dans la soirée. Or, il résulte des observations faites au Conservatoire[1] qu'une cheminée sans feu, lorsque la température extérieure est de 10°, et celle de l'intérieur de la pièce et même celle de la cheminée de 22° seulement, détermine l'évacuation d'au moins 400 mètres cubes d'air par heure. L'air était donc renouvelé dans la chambre en expérience environ cinq fois par heure.

Pour appliquer la formule précédente, nous avons donc :

$$x = 200^{mc},\ m = 0^{mc},030,\ E = 40^{mc},50.$$

On en déduit :

$$\frac{1}{n'} - \frac{1}{n} = \frac{0^{mc},030}{200 + 40^{mc},5} = 0,000124,$$

et $\frac{1}{n'} = 0,000624$, c'est-à-dire à très-peu près la proportion

1. *Études sur la Ventilation*, 1er volume, page 295.

normale, comme M. Leblanc l'a trouvé. Aussi le savant chimiste a-t-il constaté que la salubrité de cette pièce était très-satisfaisante, mais à la condition que la cheminée y produirait une ventilation active.

Influence de la grandeur des locaux. Pour un espace cubique de 100 mètres cubes par personne, on trouverait, par la formule donnée, que le volume d'air nouveau à introduire, pour maintenir la salubrité dans la limité fixée de $\frac{1}{n'} = 0{,}0008$, après une heure, serait nul, ce qui veut dire seulement que la proportion d'acide carbonique exhalée par un individu, pendant une heure, serait tout juste suffisante pour amener l'état de l'air à cette proportion. Mais, après cet intervalle, la production d'acide carbonique et des autres gaz se continuant, l'air s'altérerait de plus en plus.

Ainsi, dans l'exemple que nous avons pris plus haut d'une chambre à coucher de 60 mètres cubes de capacité, en supposant qu'il n'y ait aucun renouvellement de l'air et que, par conséquent, $x = o$, on trouverait qu'après dix heures de séjour de nuit dans une chambre complétement close, la quantité de gaz et de vapeur développée serait :

$$m \times 10 = 0^{mc},300,$$

et la formule deviendrait :

$$0^{mc},300 = 60^{mc} \left\{ \frac{1}{n'} - 0{,}0005 \right\};$$

d'où l'on tirerait :

$$\frac{1}{n'} = \frac{0^{mc},30 + 60 \times 0{,}0005}{60} = 0{,}00550,$$

c'est-à-dire dix fois plus que la proportion normale dans l'air.

L'hypothèse d'une chambre complétement close est évidemment exagérée, attendu que le refroidissement de l'air, pendant la nuit, détermine toujours un certain renouvellement par les joints des portes et des fenêtres ; mais l'application précédente suffit bien pour expliquer l'infection partielle des chambres à coucher des appartements, même les plus élégants.

Elle montre en même temps les inconvénients graves qu'offrent, pour la salubrité, les locaux habités, dans lesquels il n'existe aucun conduit d'évacuation, aucune cheminée qui puisse permettre au moins une ventilation naturelle, même quand il n'y serait jamais allumé de feu.

Sous ce rapport, la plupart des salles d'école, celles de catéchisme dans les églises, les classes et surtout les chambres sans cheminées des casernes, laissent beaucoup à désirer, et il serait facile de les améliorer en prenant des précautions, simples à exécuter, pour éviter l'inconvénient des rentrées d'air froid près des personnes, inconvénients sur lesquels les rapports des officiers du génie me semblent avoir insisté plus peut-être qu'il n'était juste de le faire.

Application de la formule aux expériences de M. Le Blanc sur l'amphithéâtre de physique et de chimie de la Sorbonne.

Cet amphithéâtre avait, en 1842, une capacité de 1 000 mètres cubes, et pouvait contenir 900 auditeurs, ce qui n'allouait à chacun que $1^{mc},111$ d'espace cubique. Il est difficile d'imaginer une proportion plus défavorable. Il était dépourvu de tout moyen de ventilation. La seule ressource, pour y prévenir l'asphyxie des auditeurs, était d'en tenir la porte ouverte.

M. Le Blanc y a constaté dans l'air les proportions suivantes d'acide carbonique :

	Proportion d'acide carbonique dans l'air.
Un moment après l'ouverture du cours de M. Dumas, 400 auditeurs environ étant présents. . . .	$0^{mc},0065$
A la fin de la leçon, 900 auditeurs étant présents.	0 ,0103

La formule précédente, appliquée, en supposant le renouvellement de l'air tout à fait nul, donnerait des proportions d'acide carbonique notablement plus fortes; mais la différence tient évidemment en grande partie à l'influence favorable, quoique insuffisante, de l'ouverture des portes.

Le résultat de ces expériences, exécutées en 1842 et publiées à cette époque, était tellement frappant, et l'état qu'elles constataient si déplorable et si peu flatteur pour un établissement de haut enseignement, confié aux plus illustres organes de la

science, qu'on aurait dû s'attendre à voir l'administration de l'instruction publique s'empresser d'y porter remède. Il n'en a rien été, et, après trente années écoulées, l'état des choses est encore le même.

L'on pourrait, il est vrai, appliquer semblable observation à la salle des séances de l'Académie des sciences elle-même qui, malgré les réclamations et les plaintes si souvent formulées par ses membres, laisse tant à désirer sous le rapport de la salubrité.

Application aux hôpitaux. Dans les hôpitaux ventilés, on alloue un espace E = 50 mètres cubes par lit et un renouvellement d'air fixé à un minimum de 60 mètres cubes par heure; mais l'on doit admettre que, tant par la respiration que par les émanations cutanées, le volume de gaz vicié, développé par heure et par individu, ne peut être, comme nous l'avons indiqué, inférieur à $m = 0^{mc},040$.

En introduisant ces données dans l'équation

$$x = \frac{m - E\left(\frac{1}{n'} - \frac{1}{n}\right)}{\frac{1}{n'} - \frac{1}{n}},$$

on en tire :

$$\left(\frac{1}{n'} - \frac{1}{n}\right)(60 + 50) = 0^{mc},040,$$

d'où

$$\frac{1}{n'} - \frac{1}{n} = 0,00036;$$

et comme $\frac{1}{n} = 0,0005$, il s'ensuit que

$$\frac{1}{n'} = 0,00086,$$

valeur qui, d'après les observations de M. le docteur de Chaumont, correspond à un air peu désagréable, mais ayant une légère odeur.

Or c'est ce que l'on observe dans les hôpitaux, où le degré de ventilation supposé est régulièrement obtenu; mais on voit par

là que le chiffre de 60 mètres cubes de renouvellement de l'air dans les salles ordinaires des hôpitaux, qu'on a si longtemps hésité à adopter, est loin d'être exagéré.

J'ai cru utile de faire connaître les indications fournies par les observations directes du savant chirurgien anglais, M. le docteur de Chaumont, et d'en comparer les résultats avec ceux des belles expériences exécutées, il y a longues années déjà, par F. Le Blanc, parce que leur ensemble confirme l'exactitude des volumes d'air que, depuis longtemps, je regarde comme nécessaires pour assurer la salubrité des lieux habités.

J'ajouterai qu'en ce qui concerne les hôpitaux, ces proportions ont été adoptées par le Comité consultatif d'hygiène et du service médical des hôpitaux, créé en 1864, sous la présidence de nos confrères, MM. Dumas et Rayer, et qu'elles sont considérées comme normales par l'Administration de l'assistance publique.

ÉTUDE

SUR LA

RÉPARTITION DE LA POTASSE ET DE LA SOUDE

DANS LES VÉGÉTAUX,

PAR M. EUGÈNE PELIGOT.

Les plantes ont-elles la faculté d'emprunter au sol les substances alcalines qu'il renferme, ou bien choisissent-elles, d'une manière exclusive, les sels de potasse en y laissant les sels de soude? Cette question, sur laquelle j'ai appelé déjà l'attention de l'Académie, est complexe; elle offre un grand intérêt agricole : elle a donné lieu à de nombreuses discussions et à quelques expériences qui semblent contredire les résultats que j'ai fait connaître. Comme elle est du petit nombre de celles qui peuvent être résolues par des travaux de laboratoire bien dirigés, je demande la permission d'y revenir avec des faits nouveaux dont l'étude a, depuis plus d'un an, absorbé tout le temps dont je puis disposer.

Il importe de préciser d'abord les conditions du problème dont je poursuis la solution. Avant la publication de mes travaux, des analyses très-nombreuses sur les produits laissés par l'incinération des végétaux avaient conduit à admettre que la potasse et la soude se rencontrent simultanément dans les plantes, bien que cette dernière base y soit beaucoup moins abondante que l'*alcali végétal*, la potasse. Personne ne mettait en doute le rôle des sels de soude dans la nutrition des plantes; la plupart des agriculteurs admettaient que ces sels doivent entrer uti-

lement dans la confection des engrais. C'est cette opinion qui se trouve résumée dans ce passage du *Cours d'Agriculture* de M. de Gasparin : « Les alcalis minéraux, la soude et la potasse, entrent toujours dans la composition des végétaux, et la petite quantité de ces substances que renferment beaucoup de terres, la difficulté que l'on entrevoit à ce qu'elles se renouvellent dans le sol, font aisément comprendre qu'elles sont au nombre des suppléments les plus utiles que l'on puisse fournir au sol [1]. »

Dans son *Économie rurale*, M. Boussingault dit : « Par ce qui précède, on ne saurait douter de l'efficacité de la potasse et de la soude sur la végétation. On retrouve d'ailleurs constamment ces bases dans les plantes [2]. »

J'ai cherché à établir par des expériences nombreuses, que, dans un grand nombre de plantes cultivées, la soude ne fait pas partie des éléments constituants des cendres, bien qu'on la rencontre dans d'autres plantes venues à côté, dans le même terrain. J'ai montré que, dans la plupart des analyses, la soude a été dosée par différence, en employant une méthode défectueuse, *sans qu'on ait cherché le plus souvent à constater préalablement dans les cendres la présence de cet alcali*. J'ai indiqué le procédé que j'ai suivi pour reconnaître sûrement ce corps, au moyen de l'efflorescence du sulfate de soude.

On comprend facilement, d'ailleurs, qu'en l'absence de toute espèce de doute sur l'existence de la soude, ce mode de dosage ait été suivi par la plupart des chimistes qui se sont occupés de l'analyse des cendres des végétaux : on sait qu'il consiste à déduire, au moyen d'une formule bien connue, la proportion des deux alcalis du poids des sulfates neutres qu'ils fournissent et de celui de l'acide sulfurique déterminé sous forme de sulfate de baryte.

Comme il importe d'établir nettement le degré de confiance qu'il convient d'accorder à ce procédé d'analyse, je demande la permission de citer textuellement l'opinion de M. Rivot sur ce sujet. Tous ceux qui ont étudié la *Docimasie* du savant ingénieur dont nous déplorons la perte récente rendent hommage à la sûreté d'appréciation qui distingue son important ouvrage.

1. *Cours d'Agriculture*, t. I, p. 646.
2. *Économie rurale*, t. II, p. 73.

Après avoir décrit ce procédé, M. Rivot ajoute :

« *Observation.* — La détermination des alcalis par le calcul laisse beaucoup à désirer sous le rapport de la certitude des résultats, et l'on ne doit y recourir que dans des cas exceptionnels ; il est, du reste, facile de se convaincre, en étudiant les deux formules précédentes, qu'on ne peut espérer une approximation que lorsque la potasse et la soude se trouvent toutes deux dans une proportion assez forte... En opérant avec le plus grand soin, on ne peut pas, en général, répondre de la neutralité des sulfates et de l'exactitude de leur pesée à 2 ou 3 centigrammes près; les erreurs commises dans les déterminations des alcalis par le calcul peuvent donc s'élever très-aisément à 5 et même à 7 centigrammes, en plus ou en moins, sur l'une ou l'autre base, suivant le signe de l'erreur faite dans la pesée des sulfates, et généralement en plus pour la soude et en moins pour la potasse [1]. »

Ainsi, en ce qui concerne les végétaux, l'influence de cette méthode sur l'inexactitude des résultats que fournit l'analyse de leurs cendres peut être d'autant plus grande que celles-ci contiennent toujours beaucoup plus de potasse que de soude.

Quoi qu'il en soit d'ailleurs, à cet égard, d'autres causes, notamment la nécessité d'abandonner des opinions qui, depuis longtemps, ont cours tant dans la pratique agricole que dans les discussions auxquelles donnent lieu l'impôt sur le sel, m'ont créé de nombreux contradicteurs. Dans un précédent travail, j'ai discuté les expériences instituées à Grignon, dans le but de démontrer l'efficacité du sel marin en raison de sa prétendue transformation en azotate de soude.

M. Cloez ne met pas en doute la présence simultanée des deux alcalis dans les plantes et dans le suint de mouton, en s'appuyant, d'ailleurs, sur des analyses faites par une méthode différente et plus précise.

M. Payen, auquel on doit des analyses de fourrages provenant des prés salés du département des Bouches-du-Rhône, fourrages dont les cendres renfermaient des sels de soude, a fait récem-

1. Docimasie, *Traité d'analyses des substances minérales*, t. II, p. 79.

ment à l'Académie deux communications ayant pour objet de contester les résultats que j'ai obtenus, et les conséquences que j'en ai déduites.

J'espère établir dans ce travail que ces dissidences sont plus apparentes que réelles. Je ne conteste nullement les faits observés, mais je diffère d'opinion sur l'interprétation qu'on leur donne.

Les végétaux que j'ai d'abord examinés provenaient tous de terrains situés loin de la mer; néanmoins ces terrains n'étaient pas exempts de sel marin venant de l'eau pluviale et des engrais, puisque l'analyse des cendres m'a conduit à admettre qu'à côté des plantes cultivées, très-nombreuses, qui ne renferment que des sels de potasse, il y en a d'autres dans lesquelles on rencontre une notable proportion de soude : la betterave, la roche, la tétragone, etc., appartiennent à cette dernière catégorie.

Je me proposais d'étudier cette année les végétaux cultivés près des bords de la mer, lorsque j'ai eu connaissance d'un travail de M. Paul de Gasparin sur la composition, au point de vue des éléments minéraux, d'un blé récolté à Saint-Gilles, dans les marais salants de la Camargue, dans le département du Gard. Ces terrains sont extrêmement chargés de sel; la potasse y est beaucoup moins abondante, puisque 100 parties de terre n'en renferment que $0^{gr},205$, tandis qu'elles contiennent $1^{gr},640$ de soude. Les deux alcalis, de même que la magnésie, y existent sous forme de chlorures.

Dans $1^{gr},525$ de cendres provenant de 100 grammes du blé (touselle blanche) récolté dans ces terrains, M. de Gasparin a trouvé $0^{gr},379$ de potasse et $0^{gr},071$ de soude.

« La préférence du blé pour la potasse et la magnésie, dit « l'auteur de ce travail, est donc confirmée; il n'est pas surpre« nant que la soude semble manquer absolument dans cette « céréale, quand la proportion de sel marin existant dans le sol « ou apportée par les engrais est relativement minime, ce qui « vient confirmer les analyses de M. Peligot. »

Malgré cette appréciation et bien que les travaux de M. de Gasparin m'inspirent la plus grande confiance, je priai leur auteur de vouloir bien m'envoyer un échantillon de ce blé que je me proposais de soumettre, de mon côté, à un examen attentif.

Je reçus bientôt 500 grammes du blé récolté cette année sur le même terrain, celui qui avait servi à l'analyse publiée par M. de Gasparin n'ayant pas été conservé. Avant de l'incinérer, je le lavai à l'eau distillée froide, ainsi que j'ai l'habitude de le faire, dans le but d'enlever les poussières qui adhèrent souvent au grain. L'eau de lavage présentait une saveur salée, et donnait un abondant précipité par l'addition de l'azotate d'argent acide. C'est, selon moi, l'explication de la légère dissidence qui existe entre les résultats de M. de Gasparin et ceux que j'ai maintes fois constatés. En effet, j'ai séparé de cette façon 0gr,212 de sel en lavant rapidement 300 grammes de ce blé; on a aussi dosé la quantité de chlorure d'argent fourni par le lavage de 100 grammes du même froment; le résultat a été le même, soit 4,3 et 4,6 pour 100 de chlorure de sodium dans le résidu qu'aurait fourni l'incinération de ce blé. M. de Gasparin en avait trouvé 8,7, mais cette différence est facile à expliquer: le blé n'était pas le même; en outre, il ne paraît pas qu'il soit possible d'enlever entièrement, par un simple lavage, une substance soluble qui se trouve à la surface d'une plante qui se gonfle, qui fait éponge en présence de l'eau. J'ajoute qu'en faisant germer le blé lavé dans l'eau distillée, celle-ci a fourni par l'évaporation un résidu qui représente environ 1 pour 100 du poids du blé, et qui contient 24,6 de chlorure de sodium pour 100 de cendres. J'ai fait la même observation sur diverses graines préalablement imprégnées de sel; il semble qu'au moment de la germination cette substance soit expulsée de préférence aux autres composés minéraux, ceux-ci étant plus utiles au développement ultérieur de la plante.

Ainsi le blé qui provient des terrains salés retient à sa surface une certaine quantité de chlorure de sodium que l'air de la mer y dépose mécaniquement, et dont l'origine ne doit pas être confondue avec celle des éléments minéraux qui sont empruntés au sol par les radicelles de la plante. Ce transport des particules salées sur tous les corps, en raison de leur surface et de leur état de division, est tellement évident qu'il ne me paraît pas utile d'y insister; toute personne qui séjourne pendant quelques heures au bord de la mer en constate sur elle-même la réalité. Dans certains cas, sous l'influence des vents de la mer, ces effets sont tels que les végétaux succombent sous l'enveloppe cristalline qui les

entoure, et, d'après M. Moll, celle-ci est quelquefois tellement épaisse que les agents du fisc interviennent pour empêcher que ce sel, qui n'a pas payé les droits, soit prélevé pour la consommation des habitants du pays.

Aussi je ne comprends pas que cette origine ait échappé à M. Cloez dans les études qu'il a faites sur les proportions relatives des alcalis contenus dans les salins de diverses plantes provenant, les unes de terrains qui bordent la mer, dans le département de la Somme, les autres, du Muséum d'histoire naturelle, à Paris. Ces analyses, de même que celles qui sont relatives au suint de moutons élevés dans des conditions analogues, ont été présentées à l'Académie comme étant en contradiction avec les résultats auxquels je suis arrivé. En ce qui concerne les plantes analysées par M. Cloez, il en est quelques-unes, comme le chou marin, la moutarde noire et le pois maritime, qui, quelle que soit leur provenance, peuvent renfermer dans leurs tissus une certaine quantité de sel marin. N'ayant pas eu l'occasion d'examiner ces plantes, je ne les ai pas classées parmi celles, assez nombreuses, dans lesquelles j'ai signalé la présence de cette substance. A l'égard des moutons nourris dans les prés salés de la baie de la Somme, je suis étonné que l'auteur de ce travail n'ait pas rencontré dans leurs toisons une quantité de chlorure de sodium encore plus considérable; tout le monde sait qu'aucune substance ne semble plus propre à s'imprégner de sel dans ces conditions. M. Cloez attribue aux plantes qui servent à la nourriture de ces animaux les 10 ou 15 pour 100 de sels de soude qu'il a rencontrés dans le suint. Cette opinion ne me paraît nullement justifiée : l'addition du sel à la nourriture des moutons est journellement pratiquée dans bien des localités, et il ne paraît pas que la potasse qu'on retire de leur suint par les procédés de MM. Maumené et Rogelet en contiennent des quantités bien notables; j'ajoute que si les sels de soude se rencontraient normalement parmi les substances qu'on peut extraire du suint, il n'est guère probable qu'ils auraient échappé aux longues et patientes investigations de M. Chevreul, qui a retiré du suint un si grand nombre de substances et qui ne fait pas mention des sels de soude.

Les mêmes observations s'appliquent aux fourrages provenant de terrains salés du Midi, qui ont été analysés par M. Payen.

Sans prétendre que parmi les plantes variées qui composent une prairie, il n'y en ait pas qui renferment des sels de soude dans leurs tissus, j'estime qu'il y a lieu de dégager, dans ces analyses, le sel déposé à la surface de ces végétaux d'avec celui qu'ils empruntent au sol. M. Payen pense qu'il ne serait pas sans intérêt de rechercher la soude dans les sécrétions des tissus périphériques des plantes. En présence des faits si simples que je viens d'indiquer, il ne me paraît pas que cette recherche doive être bien fructueuse. Je mets, d'ailleurs, dans ce but à la disposition de mon honorable confrère, des plantes nombreuses provenant des lais de mer de la Vendée.

C'est, en effet, de l'examen des plantes provenant de cette localité que j'ai maintenant à entretenir l'Académie. Il existe dans la baie de Bourgneuf, à une petite distance de l'île de Noirmoutiers, une large surface de terrains dont l'endiguement, commencé par M. Hervé Mangon, se continue, depuis l'année 1855, sous la direction d'un habile ingénieur, M. Le Cler; 700 hectares de ces polders, protégés contre la mer par des digues de 5 mètres de hauteur moyenne et d'un développement de 18 kilomètres, sont aujourd'hui en pleine culture et ont donné, cette année, d'abondantes récoltes.

Avec un soin et un empressement dont je ne saurais trop le remercier, M. Le Cler m'a envoyé des échantillons de ses différentes récoltes et, avec eux, des échantillons de la terre des polders et de leurs divisions : ceux-ci, au nombre de onze, ont été prélevés le 14 mai; les plantes récoltées sont : le froment, l'orge, les fèves, le colza, la luzerne, le lin, le seigle, les pommes de terre et les haricots.

Ces plantes, soumises à l'incinération, contiennent toutes du sel en assez grande quantité. Ce sel paraît se trouver à la surface de la plante; le lavage de celle-ci avec l'eau froide suffit, en effet, pour en séparer la plus grande partie; mais il ne paraît pas possible, en raison de la perméabilité des tissus dans les plantes coupées, de l'enlever en totalité. Ce sont les enveloppes des graines qui en contiennent le plus : telles sont les cosses des fèves par rapport aux graines qu'elles renferment. En évaporant ces eaux de lavage, on obtient un résidu salin, qui, selon la nature plus ou moins perméable de la plante, contient le chlorure de sodium dans une proportion qui varie entre 0,50 et 0,85

du poids du résidu calciné ; ainsi les fanes de pommes de terre, cédant à l'eau froide d'autres sels, donnent un résidu qui ne renferme que 55 pour 100 de sel, tandis qu'une botte de seigle du poids de 685 grammes, dont les tissus sont moins perméables à l'eau, a fourni 4^{gr},225 de salin, renfermant lui-même 83,4 pour 100 de chlorure de sodium.

J'estime donc qu'il convient, dans les recherches de ce genre, de tenir grandement compte de la position géographique des terrains, aussi bien que de leur nature chimique. Je pense que c'est principalement à cette circonstance, entièrement négligée jusqu'à présent, qu'il faut attribuer le désaccord que présentent mes analyses avec celles de M. Isidore Pierre sur les blés du Calvados, de M. Eugène Marchand sur des plantes provenant des environs de Fécamp, de M. Robert Kane sur les lins d'Irlande, de M. Mulder sur les cendres du noyer de Hollande, etc. Le transport du sel, à de grandes distances, par les vents et par la pulvérisation de l'eau de mer au sommet des vagues, ne saurait être révoqué en doute. Tout récemment, M. Gillebert d'Hercourt a publié d'intéressantes observations sur la présence du sel dans l'atmosphère maritime[1] ; M. Eug. Marchand, de Fécamp, a décrit les effets produits par un vent du nord-ouest qui charriait des particules d'eau de mer sur des feuilles qui, sous cette influence, ont été complétement détruites[2].

On peut même se demander si, dans des localités situées loin de la mer, l'eau pluviale, qui contient toujours une petite quantité de sel marin, venant à séjourner et à s'évaporer à la surface des végétaux, n'est pas aussi l'origine de la petite quantité de chlorure de sodium qu'on trouve quelquefois dans leurs cendres. C'est une question à laquelle je ne suis pas en mesure de répondre quant à présent.

Cette cause d'erreur étant écartée, je reste convaincu, sans pouvoir le démontrer pour la plupart des récoltes provenant des polders, que, de même que pour les végétaux de l'intérieur des terres, les radicelles de ces plantes délaissent le sel marin que le terrain renferme peut-être en quantité relativement considérable ; cette opinion est d'ailleurs confirmée par le résultat

1. *Les Mondes*, t. XXI, p. 565.
2. *Cosmos*, 18e année, t. V, p. 567.

d'une analyse sur laquelle je dois insister, en raison de l'importance que je lui attribue.

Je me suis proposé de rechercher si certaines plantes, qui, en dehors des causes *extérieures* que j'ai signalées, ne contiennent pas de soude quand elles sont cultivées loin de la mer, acquièrent la faculté d'en emprunter au sol des polders dans lequel elles ont végété.

Les tubercules de la pomme de terre se prêtent bien à cette recherche; étant à l'abri du contact de l'air salé, ils ne peuvent emprunter qu'au sol les éléments minéraux qu'ils contiennent.

On a soumis au traitement, par l'eau de baryte, la liqueur provenant des cendres fournies par 1 kilogramme de pommes de terre provenant des polders de Bourgneuf. Ces cendres renfermaient 92 pour 100 de sels solubles. J'ai décrit, dans un précédent travail, le procédé qu'il convient de suivre pour séparer, sous forme d'azotate cristallisé, la plus grande partie de la potasse. L'eau mère, qui accompagne les cristaux de nitre, et dans laquelle doit se trouver toute la soude, a été traitée par l'acide sulfurique, et le résidu fortement calciné. C'était du sulfate de potasse *entièrement exempt de sulfate de soude*. Ce sel, dissous dans l'eau, n'a donné, par l'évaporation spontanée, que des prismes transparents, sans aucune trace d'efflorescence.

De plus, j'ai analysé ce sulfate avec le plus grand soin. Voici les résultats que j'ai obtenus :

$0^{gr},500$ de ce sel ont donné $0^{gr},667$ de sulfate de baryte.

Or on trouve, par le calcul, que $0^{gr},500$ de sulfate de potasse pur doivent fournir $0^{gr},668$ de sulfate de baryte.

Il me paraît donc démontré que ces pommes de terre sont parfaitement exemptes de soude, aussi bien que celles qui proviennent de terrains situés à une grande distance de la mer.

A l'appui de cette conclusion, je suis autorisé à mentionner une expérience que M. Dehérain a faite récemment à l'École d'agriculture de Grignon : des pommes de terre, cultivées en plein champ, ont été arrosées avec des dissolutions de sulfate, d'azotate, de phosphate de soude et de sel marin; leurs cendres ne contenaient pas de soude.

Je regrette que ces résultats soient en contradiction avec l'opinion que M. Payen s'est faite sur l'existence de la soude dans ces tubercules : notre confrère a présenté à la Société d'agricul-

ture une analyse de *pommes de terre mères* dans les cendres desquelles M. Champion a trouvé 8 pour 100 de soude; outre que cette recherche me paraît avoir été faite sur une quantité de matière insuffisante, ainsi que M. Champion l'a lui-même reconnu, je dois faire observer que ce qu'on appelle *pommes de terre mères*, probablement par antithèse, est un résidu ne contenant plus de fécule qu'on trouve dans le sol après la mort du végétal : les pommes de terre que j'ai analysées n'étaient pas même malades.

J'ai fait une étude du même genre sur la graine de colza provenant des mêmes terrains; mais je n'ai pas pu débarrasser celle-ci, par le lavage, du sel dont elle était imprégnée. Comme les agriculteurs s'accordent à considérer les terrains ou les engrais salés comme étant très-favorables à la culture de cette plante, j'ai cherché attentivement la soude dans de la graine de colza venant de la maison Vilmorin. En employant le même procédé, je suis arrivé au même résultat négatif que pour la pomme de terre. L'analyse du sulfate a donné, en effet, 0gr,334 de sulfate de baryte pour 0gr,250 de matière employée, c'est-à-dire de sulfate de potasse; le calcul donne exactement le même nombre. Je dois donc admettre que la graine de colza est parfaitement exempte de sel de soude.

En résumé, les faits que je viens d'exposer, et ceux que j'ai publiés antérieurement, ont pour objet d'établir que, dans les végétaux, la soude ou plutôt le sel marin peut se rencontrer sous plusieurs états distincts :

1° Quelques plantes l'empruntent au sol par leurs radicelles; le chlorure de sodium pénètre leurs tissus et fait partie des matières minérales que fournit leur incinération. *Beaucoup d'autres n'en renferment pas.*

2° Dans un certain nombre de végétaux marins, la soude existe, sous forme d'eau salée, dans les sucs séveux qui remplissent les tissus, ordinairement très-volumineux, de ces plantes.

3° Enfin, pour toutes les plantes qui végètent dans une atmosphère salée, le chlorure de sodium se rencontre et se concentre à la surface de ces plantes; sa présence dans leurs cendres n'implique, en aucune façon, qu'il ait été emprunté au sol par

leurs radicelles, et qu'il ait été utile au développement de ces végétaux.

SUR LA NATURE DU SOL DES POLDERS DE LA VENDÉE.

En poursuivant les recherches que j'ai entreprises depuis plusieurs années sur la répartition des alcalis dans les végétaux, j'ai été conduit à examiner les terrains situés sur les bords de la mer, dans le département de la Vendée, qui m'ont fourni les plantes ayant servi aux études dont j'ai entretenu l'Académie dans sa séance du 20 décembre 1869.

Ce dernier travail avait pour objet principal la recherche des sels de soude ou plutôt du sel marin dans les produits de l'incinération de ces plantes; j'ai montré qu'en effet ces produits renferment une assez grande quantité de chlorure de sodium, que les vents et la poussière des vagues déposent à la surface des végétaux soumis à leur influence; mais la présence du sel dans ces cendres n'implique, en aucune façon, que celui-ci ait été emprunté au sol par les radicelles de ces mêmes plantes : j'ai établi, par des analyses faites avec les plus grands soins, que les tubercules de pommes de terre venues dans ces terrains sont absolument exempts de produits sodiques, par cela même que leur mode de végétation les abrite du contact de l'air salé.

Cette étude était le complément de recherches antérieures dans lesquelles j'ai montré que, contrairement aux idées reçues et à l'opinion des agronomes les plus autorisés, la plupart des végétaux cultivés délaissent les sels de soude, tandis qu'ils empruntent au sol l'*alcali végétal*, la potasse, qu'ils y rencontrent sous diverses formes. Dans mon opinion, le remplacement de la potasse par la soude, et la présence simultanée des deux alcalis qu'on supposait, d'après des analyses nombreuses, exister dans les végétaux, sont, le plus souvent, la conséquence d'un mode de dosage défectueux, qui a pour résultat d'attribuer aux produits analysés une quantité de soude d'autant plus considérable que l'analyse est elle-même plus mal exécutée. Souvent même, cet alcali n'est dosé que par différence, de sorte que toutes les pertes dans la détermination des autres éléments comptent pour

de la soude, alors même que la présence de cette substance n'a pas été établie par des essais préalables[1].

Aucune expérience n'étant venue contredire ces résultats, qui ont déjà quatre années de date, j'ai peut-être le droit de les considérer comme acquis à la science[2]. Cependant, je désire soumettre aux personnes que cette question intéresse une dernière expérience ayant pour objet de constater une fois de plus que, dans une terre contenant, comme toutes les terres cultivées, du sel marin, celui-ci est délaissé par certaines plantes, tandis qu'il est absorbé par d'autres : une betterave venue dans un carré de panais a été soumise à l'incinération, ainsi que les panais qui se trouvaient les plus proches d'elle, à une distance de quelques centimètres seulement. En suivant la marche que j'ai indiquée[3],

1. D'après des observations qui m'ont été adressées par M. le docteur Sacc, de Neuchâtel (Suisse), il y aurait lieu de faire des réserves pour les plantes venues dans le terrain néocomien, lequel, d'après M. Sacc, est riche en carbonate de soude et très-pauvre en sels de potasse.

2. Je ne dois pas néanmoins passer sous silence les critiques qui m'ont été adressées, à plusieurs reprises, par M. Payen. L'argumentation de notre très-regretté confrère avait pour objet d'établir que diverses analyses de plantes faisaient mention de la soude contenue dans les produits de leur incinération. Ce point ne saurait être contesté, puisque le but de mon travail a été d'établir : 1° que plusieurs de ces analyses ne sont pas exactes ; 2° qu'on a quelquefois confondu le sel déposé mécaniquement à la surface des plantes avec celui qu'elles peuvent emprunter au terrain par leurs radicelles. J'ajoute que parmi les plantes mentionnées par M. Payen, il s'en trouve qui, d'après mes propres expériences, contiennent réellement du sel, comme la betterave et divers végétaux appartenant à la famille des Atriplicées.

Néanmoins je reconnais qu'une des objections de M. Payen est fondée ; dans un Mémoire publié antérieurement, je disais : « La plupart des plantes cultivées fournissent des cendres exemptes de sels de soude, attendu que les terrains dans lesquels elles se sont développées en sont eux-mêmes exempts. » C'est « à peu près exempts » qu'il eût fallu dire, ainsi que cela ressort clairement, d'ailleurs, de la discussion à laquelle je me suis livré sur la présence nécessaire du sel marin dans tous les terrains, ce sel ayant pour origine l'eau pluviale, les engrais et les roches à base de soude décomposées par les agents atmosphériques.

N'étant pas parvenu à établir la présence de la soude dans les plantes qui, d'après mes expériences, n'en contiennent pas, M. Payen a eu recours à l'analyse spectrale : à mon sens, celle-ci, en raison même de son extrême sensibilité, n'a rien à faire, quant à présent du moins, dans les questions de chimie agricole.

3. *Annales de Chimie et de Physique*, 4e série, t. XII, p. 735.

il m'a été facile de constater la présence des sels de soude dans la betterave, qui est, comme on sait, une plante salifère, tandis que les panais, feuilles et racines, n'en contenaient pas.

Je reprends maintenant la suite de mon dernier travail dans lequel j'ai cherché à établir que les sels de soude qu'on rencontre dans les plantes cultivées sur les bords de la mer ont pour origine le sel qui se dépose à la surface de ces végétaux; j'avais entrepris, dès cette époque, l'analyse des terrains qui m'avaient fourni ces plantes; les événements que nous venons de traverser ont interrompu cette étude, que j'ai complétée depuis.

J'ai dit que ces plantes venaient des polders ou lais de mer situés dans la baie de Bourgneuf (Vendée), près de l'île de Noirmoutiers, et non loin de l'embouchure de la Loire. La mise en culture de ces terres, conquises sur l'Océan, a donné lieu à une importante exploitation agricole, commencée il y a vingt ans environ par M. Hervé Mangon, et très-habilement dirigée, depuis 1855, par M. Le Cler, ingénieur civil. Depuis cette époque, cinq polders, représentant une surface de 700 hectares environ et un développement de digues de plus de 18 kilomètres, ont été créés et mis en culture.

M. Le Cler avait bien voulu m'envoyer un échantillon du sol provenant de chacune des pièces de terre qui avaient fourni les plantes que j'ai étudiées. Ces terres ne reçoivent généralement pas d'engrais : celles qui sont désignées sous les noms de polders des Champs, du Dain et de la Coupelasse n'en ont pas reçu depuis leur enclôture, déjà ancienne, et dont la date est inscrite sur le tableau ci-après: formées des dépôts qui s'accumulent dans la baie de Bourgneuf, ces alluvions sont d'une grande fertilité et peuvent être cultivées sans engrais pendant de longues années : le curage des fossés procure seulement un léger amendement. Le polder dit de Barbâtre, situé dans l'île de Noirmoutiers, dont le sol est trop sablonneux, est le seul qui reçoive annuellement, par hectare, environ 20 000 kilogrammes de goëmons recueillis sur la côte.

Les polders ne sont séparés de la mer que par des digues de 4 à 5 mètres de hauteur. Avant leur endiguement, ils étaient couverts d'eau à chaque marée haute; une fois endigués, ils sont desséchés et dessalés par un système de drainage à ciel ouvert,

qui consiste en un réseau de fossés avec pentes convenables pour l'écoulement des eaux pluviales. On verra, par l'examen du tableau ci-après, combien ces moyens de drainage sont efficaces.

En dehors des terrains cultivés, le pays renferme de nombreux marais salants.

Pendant les premières années de mise en culture, les récoltes sont misérables; elles vont en s'améliorant au fur et à mesure du dessalage des terres.

Sauf pour le sel marin, dont la détermination a été exécutée avec précision, l'examen de ces terres a été fait par un procédé d'analyse sommaire que je décrirai brièvement.

Chaque échantillon de terre, réduit en poudre et tamisé, est desséché à 110 degrés, pour la détermination de l'eau qu'il contient. Le résidu sec est calciné au rouge naissant, mouillé ensuite avec du carbonate d'ammoniaque (afin de rétablir à l'état de carbonates la chaux et la magnésie qui peuvent s'y trouver à l'état caustique), puis chauffé de nouveau à la température de 300 degrés; la balance donne, par la perte de poids, la proportion des matières organiques que ces terres renferment.

Les carbonates terreux sont dosés sur un autre échantillon qui donne, par différence, le poids de l'acide carbonique qu'ils contiennent, au moyen de l'un des petits appareils qui sont en usage pour cette opération.

Les produits solubles sont déterminés en soumettant au lavage à l'eau chaude 100 grammes de terre. La liqueur fournie par ce lavage est évaporée à feu nu, puis au bain-marie; elle laisse un résidu brun, qu'on dessèche à 110 degrés, et qu'on pèse dans la capsule de porcelaine ayant servi à cette évaporation.

Les matières minérales et les matières organiques solubles dans l'eau, ainsi dosées, sont soumises à une légère incinération qui détruit ces dernières; une nouvelle pesée en donne le poids par différence, et directement celui des matières minérales.

Enfin le résidu calciné est repris par l'eau faiblement acidulée par l'acide azotique; la nouvelle dissolution, qui renferme le sel marin, les autres chlorures, des sels de chaux et de magnésie, etc., est soigneusement analysée, au point de vue de la détermination du chlore, au moyen d'une dissolution titrée renfermant 0gr,005 d'argent par centimètre cube; en prenant la

précaution de dépasser légèrement la quantité d'azotate d'argent qui amène la précipitation complète des chlorures, et en terminant le dosage avec la dissolution décimale de sel marin dont chaque centimètre cube précipite 0gr,001 d'argent, on arrive à déterminer avec sûreté le chlore contenu, sous forme de chlorure, dans une liqueur très-diluée.

Ces divers éléments étant connus, on a, par différence, la proportion de sable, d'argile, d'oxyde de fer, etc., qui constituent la masse principale de ces terres.

Le tableau qui suit représente la composition des onze échantillons que j'ai examinés, avec leur désignation, le numéro de la pièce de terre et la date de leur mise en culture.

DÉSIGNATION.	POLDERS DU DAIN. n° 2. — 1864.	DU DAIN. n° 8. — 1863.	DU DAIN. n° 10. — 1863.	DES CHAMPS. n° 1. — 1860.	DES CHAMPS. n° 7. — 1860.	DES CHAMPS. n° 11. — 1860.	DE BARBATRE. n° 4. — 1855.	DE BARBATRE. n° 6. — 1855.	DE BARBATRE. n° 9. — 1855.	DE LA COUPELASSE. n° 3. — 1867.	DE LA COUPELASSE. n° 5. — 1867.
Eau	5,55	2,06	5,80	6,40	5,60	6,75	2,25	1,70	1,60	5,95	5,10
Argile, sable, oxyde de fer, débris de roches, etc.	77,76	77,20	79,99	80,58	79,18	72,35	84,52	81,87	84,53	79,55	79,45
Carbonates de chaux et magnésie	8,31	11,36	6,63	4,68	7,90	18,63	9,32	12,09	11,13	5,59	8,59
Matières organiques insolubles	8,25	9,23	7,45	8,07	7,14	2,14	3,71	4,14	2,54	8,75	6,68
Matières organiques solubles et sels minéraux solubles	0,13	0,15	0,13	0,27	0,18	0,13	0,20	0,20	0,20	0,16	0,18
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Sel marin (qui se trouve dans les sels minéraux solubles fournis par 100 grammes de terre)	gr. 0,016	gr. 0,008	gr. 0,008	gr. 0,014	gr. 0,006	gr. 0,006	gr. 0,051	gr. 0,067	gr. 0,056	gr. 0,056	gr. 0,018

En jetant les yeux sur ce tableau, on voit avec surprise combien est petite la quantité de chlorure de sodium que ces terres renferment : elle varie, en effet, entre 60 et 600 milligrammes par kilogramme de terre, soit 6 à 60 cent-millièmes. En réalité, elle est encore plus petite : car, d'une part, on a admis que tout le chlore appartient au sel marin, tandis que celui-ci peut être mélangé avec d'autres chlorures ; d'autre part, on n'a pas tenu compte des graviers et des racines séparés par le tamisage de la terre.

En comparant ces analyses à celles qui ont été exécutées sur ces mêmes terres, en 1863, par M. Hervé Mangon, à l'École des ponts et chaussées, on constate que le dessalage des polders s'est fait avec une assez grande rapidité : ainsi le polder du Dain, endigué en 1862, contenait, il y a huit ans, 1,76 de sel marin pour 100 de terre ; celui de la Coupelasse, 6,5 ; d'autres, plus anciens; ne renfermaient déjà que de faibles quantités de sel qui n'ont pas été dosées.

On sait depuis longtemps que les lais de mer de l'ouest et du nord de la France ne sont cultivés avec profit qu'autant qu'ils sont dépouillés de la plus grande partie du sel qu'ils renfermaient à l'origine ; mais il était permis de douter que ce lavage dût être aussi complet. Ces terrains, en effet, une fois mis en culture, ne renferment pas plus de sel que ceux qui sont situés à de grandes distances de la mer.

Comme terme de comparaison, j'ai soumis à l'analyse, en suivant les mêmes procédés, un échantillon de terre des environs de Paris, d'une fertilité ordinaire, qu'on entretient avec du fumier d'étable.

Voici sa composition :

Eau	12.3
Argile, sable, oxyde de fer, etc.	63.1
Carbonates terreux	21.1
Matières organiques insolubles	3.3
Matières et sels minéraux solubles	0.2
	100.0

Chlorure de sodium. 0gr.024

Soit 240 milligrammes par kilogramme de terre, c'est-à-dire une quantité plus considérable que dans plusieurs des échantillons des polders de la Vendée.

Il est d'ailleurs inutile de faire observer que cette proportion de sel, en ce qui concerne les lais de mer, doit nécessairement présenter de grandes variations pour le même terrain ; les échantillons des terres dont j'ai donné l'analyse avaient été prélevés au mois de mai, après les pluies abondantes de l'hiver et du printemps ; les plantes qui en provenaient, dont la surface était incrustée de quantités de sel relativement beaucoup plus considérables, avaient été récoltées à la fin du mois de juillet.

Il m'a paru intéressant de rechercher quelle est la quantité de potasse que renferment ces polders, tant sous forme de sels solubles, à l'état libre et dans les détritus d'origine organique, qu'à l'état de roches sableuses à base de potasse. A cet effet, on a opéré, pour le dosage des composés solubles, sur les liqueurs réunies provenant du lavage de 50 grammes de chacun des onze échantillons de terre ; ce résidu pesait 0gr,460 ; il renfermait 0,027 de chlorure de potassium, soit 0,049 par kilogramme de terre. Les mêmes terres, préalablement calcinées, en contenaient beaucoup plus : soit, par kilogramme, 0gr,311.

Enfin, pour doser la potasse engagée sous forme de composés insolubles dans les débris de roches qui forment ces alluvions, on a attaqué par le carbonate de baryte ou par le carbonate de soude la terre préalablement calcinée, en suivant les procédés en usage pour l'analyse des produits vitreux. La quantité de potasse trouvée est considérable ; elle varie entre 1,8 et 3 pour 100 de terre : elle explique la fertilité de cette terre, pour le présent comme dans un avenir plus ou moins éloigné ; elle rend compte, en même temps, de son origine géologique.

Les faits que j'ai observés relativement à l'existence d'une très-petite quantité de sel marin dans les terrains des polders de la Vendée s'accordent, d'ailleurs, parfaitement avec ceux qui sont consignés par M. Barral, dans l'importante étude qu'il a faite des moëres du Nord, aux environs de Dunkerque et sur les confins de la Belgique. Après le dessèchement de ces vastes terrains conquis sur la mer, les récoltes n'ont pas cessé d'être mauvaises pendant une quinzaine d'années ; elles ne sont devenues bonnes qu'après que l'eau salée a été complétement enlevée par les moulins. Chaque fois que les moëres ont été inondées par des eaux salées, ainsi que cela est arrivé quatre fois en deux siècles par des faits de guerre ou de mauvaise gestion, la mise

en culture ne s'est rétablie qu'après un long intervalle, tandis que la végétation reprend immédiatement après les inondations par les eaux douces. Il y a là, par conséquent, une expérience séculaire faite sur une très-grande échelle, puisque les moëres françaises et belges ont une superficie de 32 783 hectares.

Cependant, comme pour la plupart des faits agricoles, il ne faut pas trop se hâter de généraliser ces indications : elles concernent les terrains dits *salés* de l'ouest et du nord de la France ; mais il en est autrement de ceux du Midi, dont la fertilité se maintient en présence d'une quantité de sel marin beaucoup plus considérable. Dans la Camargue, d'après M. Paul de Gasparin, les terres labourables sont extrêmement chargées de sel ; elles blanchissent quand le temps est sec, par suite de la formation de cristaux de chlorure de sodium. La sortie du blé n'est assurée qu'en maintenant la terre dans un état constant de fraîcheur, au moyen d'une couverture de litières.

Il est possible que, sous l'influence d'une température plus élevée, et probablement aussi en raison de l'existence ou de l'addition de matières fertilisantes plus abondantes, les effets dus à la présence du chlorure de sodium soient neutralisés ou amoindris. Cette opinion se trouverait d'ailleurs en harmonie avec celle qui est énoncée par Thaër dans ses *Principes d'Agriculture* (traduction de Crud, 1812) :

« Lorsqu'on applique cette substance (le sel commun) au sol en trop grande quantité, la végétation en est complétement arrêtée ; mais, lorsque le sel a été lavé par les pluies et que, peut-être, il a été en partie décomposé par l'humus, il donne, pendant les années suivantes, beaucoup de force à la végétation. Lorsqu'on en répand une petite quantité sur un terrain riche, il produit un effet très-sensible, mais de courte durée ; en revanche, cet effet est absolument nul, lorsque cette petite quantité a été étendue sur un terrain appauvri... Au reste, même sur le rivage de la mer, le sel est promptement entraîné hors du sol ; en effet, lorsqu'on fait l'analyse des terrains de ce genre, on y trouve à peine quelques vestiges de cette substance. »

On peut faire à l'affirmation de Thaër, concernant les bons effets du sel sur les terrains riches, cette objection, qu'il est bien difficile de dégager la part qui appartient à cette substance d'avec celle qui revient, tant aux influences atmosphériques

qu'aux matières fertilisantes dont le terrain est déjà pourvu : toutes les expériences faites sur les effets du sel sur la végétation laissent ce côté de la question entièrement dans le vague.

Je n'ai pas besoin de faire remarquer que cette étude des terres des polders laisse bien peu de doute sur la faculté qu'auraient les plantes venues dans ces terrains, d'y délaisser le sel marin, de même que les plantes qui végètent dans l'intérieur des terres. Je ne parle pas, bien entendu, des plantes marines, comme les salsolées, la betterave, etc. Il y a tout lieu d'admettre que, dans l'un comme dans l'autre cas, les mêmes plantes empruntent au sol les mêmes éléments. Je suis loin néanmoins de contester que, dans des cas fort limités, le sel puisse produire sur certaines récoltes un effet avantageux. Ces bons résultats trouveraient peut-être leur explication dans un fait qui, je crois, n'a pas encore été signalé, au moins en ce qui concerne son application à l'agriculture ; c'est la propriété que possèdent les chlorures en général, et notamment le chlorure de sodium, de dissoudre des quantités très-sensibles de phosphate de chaux. Je pense être agréable aux partisans, encore nombreux, de l'emploi du sel comme amendement, en appelant leur attention sur ce point, qui mérite également d'être pris en considération par les géologues, en raison de la présence constante du chlore dans l'apatite et dans les phosphorites des terrains stratifiés. C'est peut-être à cette action dissolvante qu'il faut rattacher l'influence heureuse qu'on attribue au sel sur les récoltes des terrains déjà pourvus de matières fertilisantes ; cette propriété expliquerait l'habitude qu'ont les fermiers anglais d'ajouter une certaine dose de sel au guano, qu'ils consomment en si grande quantité : s'il est vrai, comme on l'assure, que le sel favorise le développement des plantes oléagineuses, notamment du colza, son intervention serait justifiée par le transport des phosphates terreux que ces graines contiennent en abondance, bien qu'elles ne renferment pas de sels de soude.

Néanmoins, tout en tenant compte de ces faits, j'estime qu'il convient de renoncer aux exagérations dans lesquelles on est tombé sur l'utilité du sel pour la culture de la terre. Ces exagérations sont d'origine moderne. Or, même en agriculture, il ne faut pas dédaigner l'opinion des anciens : tous s'accordent à signaler les mauvais effets de cette substance.

Sans remonter beaucoup au delà de l'ère chrétienne, Virgile, dans ses *Géorgiques* (liv. II, vers 228), dit « que les moissons « viennent mal dans les terres salées ; qu'on ne peut même cor« riger leur mauvaise qualité par la culture ; la vigne et les « arbres y dégénèrent également, etc. » Il donne même le moyen, un peu primitif, il est vrai, de faire l'essai des terres salées. Pline, tout en recommandant de donner du sel au bétail, n'en affirme pas moins qu'il rend la terre stérile. Au XVIe siècle, Olivier de Serres, dans son *Théâtre d'Agriculture*, ne parle aussi du sel que pour les *bestes de labour*.

Ce n'est qu'au commencement de ce siècle qu'on a préconisé pour la première fois les bons effets du sel comme amendement. Des causes multiples ont concouru à persuader aux agriculteurs que ce produit à bon marché contribuerait puissamment à l'amélioration de leurs terres : le souvenir de l'ancienne gabelle ; les influences locales intéressées à la vente du sel à bas prix ; la demande incessante, au nom des besoins et des progrès de l'agriculture, de la suppression de l'impôt du sel, demande qui est devenue un moyen d'opposition contre le Gouvernement, quel qu'il soit ; des essais, plus ou moins bien dirigés, dans le but d'affirmer son efficacité comme amendement ; l'existence prétendue de composés sodiques dans les plantes cultivées ; enfin, les idées de substitution de substances équivalentes empruntées au sol par les végétaux : telles sont les causes principales qui ont donné au sel une importance agricole que les anciens lui déniaient absolument. Parmi ces causes, les unes ne sont pas étrangères à la politique, et leur discussion serait déplacée dans cette enceinte ; je demande néanmoins la permission de faire remarquer que, si la culture des terres est désintéressée dans la question du sel, l'impôt sur cette substance, malgré son impopularité, est peut-être encore l'un des impôts les moins vexatoires et les moins lourds à supporter. Quant aux autres causes, elles sont du domaine de la science, et, sous ce rapport, j'ai lieu d'espérer que, si les expériences qui font l'objet de ces études ne sont pas infirmées, elles contribueront à réduire à sa juste valeur la part qu'on attribue au sel dans la production et dans l'amélioration des récoltes.

EXPÉRIENCES DE TRACTION

SUR LE SYSTÈME

DE CHEMIN DE FER DE M. LARMANJAT

M. Larmanjat s'occupe, depuis plusieurs années déjà, de la construction de voies de fer à un seul rail, à l'aide desquelles il s'est proposé de réduire la résistance à laquelle donne lieu la traction sur voies ordinaires, tout en profitant au besoin de l'adhérence des roues de la locomotive sur le sol, pour faire franchir de fortes rampes à une charge relativement grande.

Nous avons profité de l'installation provisoire d'une de ces voies, auprès de la place du Trocadéro, pour déterminer les coefficients de traction des diverses parties de ce système, et le rôle du mode de répartition des pressions, qui varie suivant les circonstances et, entre certaines limites, à la volonté du mécanicien.

Le train remorqué est en effet porté, pour la plus grande partie, sur le rail, par l'intermédiaire de deux roues à rebords en fer, qui, placées l'une derrière l'autre, suivant l'axe de la voie de fer, ne donnent lieu qu'à une traction relativement faible. Les deux roues latérales cheminent en même temps sur le sol; mais elles ne supportent en réalité qu'une partie seulement de la charge totale, et reposent même, tantôt d'un côté, tantôt de l'autre, suivant les oscillations du centre de gravité qui peuvent résulter de la forme du profil transversal de la route, de la répartition de la charge, ou de la compression plus ou moins grande des ressorts.

La voie sur laquelle nos expériences ont été faites est creuse et formée de deux rails en fer, dont les patins sont juxtaposés;

les résultats auraient sans doute été plus favorables sur des rails en saillie.

En ce qui concerne le train remorqué, le but à atteindre consistait à faire porter presque exclusivement la charge sur le rail.

Le problème se présentait tout autre à l'inventeur, en ce qui concerne la locomotive, qui est également portée sur quatre roues : deux roues de direction, cheminant sur le rail central, et donnant lieu relativement à une faible traction ; deux roues d'adhérence, cheminant sur le sol, et sur lesquelles on fera porter une proportion plus ou moins grande de la charge totale, de manière à obtenir, dans chaque cas, le degré d'adhérence nécessaire. Cette variabilité de l'adhérence, suivant les besoins, est le caractère essentiel du système, et c'est en cherchant à en profiter, dans les meilleures conditions, que M. Larmanjat a pu se proposer de traîner de lourds convois avec un remorqueur d'un poids relativement faible; l'adhérence qu'il aura besoin de développer, dans chaque cas particulier, devra faire équilibre à la somme des tractions du remorqueur et du train. Pour reconnaître les conditions pratiques de cet équilibre, nous avons voulu déduire, autant que possible, de l'expérience directe, la mesure de la traction du train et de celle de la locomotive en particulier.

A ce dernier point de vue, la question était d'autant plus intéressante que les roues d'adhérence sont garnies d'un bandage de caoutchouc, système Thomsom, de 11 centimètres d'épaisseur, et que nous ne connaissons encore aucune détermination sur le coefficient de traction dans ces conditions [1].

Les expériences ont été faites le mardi 13 août 1872, avec le concours de M. Rozat de Mandres, ingénieur en chef du département de la Seine, et de M. Saint-Yves, ingénieur des ponts et chaussées.

Les wagons avaient à l'avance été surchargés avec de la fonte, pour équivaloir à la charge des voyageurs, et les poids de cha-

1. Ces bandages en caoutchouc sont très-employés en Angleterre ; ils permettent de supprimer les ressorts de suspension. Il faut toutefois remarquer que leur interposition entre la jante et le sol revient à remplacer celui-ci par un sol uniformément compressible.

cune des parties du système ont été constatés, par M. Couronne, dans les conditions suivantes :

Chacun des deux grands wagons pesait 2137 kilog., et pour les deux	4274 kilog.
Poids du troisième wagon plus petit	1750
Charge additionnelle de fonte, équivalant à 62 voyageurs	4380
Charge totale du train	10404
à laquelle il faut ajouter, pour trois voyageurs, en moyenne	196
Soit, au total	10600 kilog.

Le poids mort entre, dans cette évaluation, pour 6 024 : 10 600 ou 57 0/0.

Le poids de la locomotive se décompose ainsi qu'il suit :

Machine vide	6380 kilog.
Eau dans les caissons	420
Eau dans la chaudière	900
Charbon	300
	8000
Différence provenant du remplacement des bandages en fer par des bandages en caoutchouc.	200
Total.	7800 kilog.

Si l'on fait entrer cette charge dans le poids mort, on reconnaît que celui-ci représente les 13824 : 18400 = 0,75 de la charge totale. En répartissant entre 62 voyageurs le total du poids mort des trains, on trouve qu'il revient à 6024 : 62 = 97k par tête, ce qui est inférieur au poids mort ordinaire des chemins de fer de grande exploitation, où l'on compte 400 kil. en première classe, 225 en deuxième et 125 en troisième classe.

La voie est posée dans toute la longueur de l'avenue de l'Empereur, comprise entre la place de Chaillot et la place du Trocadéro ; elle se bifurque sur ces deux places et se raccorde avec l'alignement principal par des boucles, de manière à permettre l'aller et le retour par la même ligne et sans retourner l'attelage. Entre les deux aiguilles placées aux entrées de ces raccordements, la longueur totale est de 385m,37, dont 325m,37 en ligne

droite, avec une rampe uniforme de $0^m,027$ par mètre. Sur ce parcours, on avait établi des repères auxquels correspondent les différents pointages des tracés dynamométriques; mais on comprend que la partie la plus importante des tracés est celle qui correspond à l'alignement à pente régulière, compris de l'aiguille A à la naissance G de la courbe de la place du Trocadéro; c'est surtout à cette partie du parcours que se rapporteront nos principales indications.

Quatre voyages ont été faits : les trois premiers en faisant remorquer, à différentes vitesses, par la locomotive principale, les trois wagons chargés.

Dans le quatrième voyage, c'était, au contraire, un des grands wagons qui, traîné par une petite locomotive, remorquait la locomotive principale, dont nous avions pour objet de déterminer le coefficient de traction. A cet effet, les roues de cette locomotive avaient été débrayées; dans la première partie du parcours, elles étaient chargées comme dans les trois premiers voyages; dans la seconde partie, on avait, autant que possible, reporté toute la charge sur les roues adhérentes, de manière à obtenir le coefficient de traction des roues en caoutchouc.

Dans cette dernière partie de la quatrième expérience, on peut admettre que la charge, sur les roues centrales, était réduite à environ 800 kil., les 7 000 kilogrammes restant étant complétement portés par les roues d'adhérence exclusivement.

Pour les wagons, les roues centrales ont $0^m,90$ de diamètre, les roues latérales, $0^m,70$, avec largeur de jante de $0^m,08$; pour la locomotive, le diamètre des roues centrales est de $0^m,56$; celui des roues d'adhérence, $1^m,10$, avec 0,23 de largeur de jante.

Pour chacune des expériences, l'effort de remorquage a été enregistré avec un même dynamomètre à deux lames, dont la formule est $F = 28,87 + 10,42\ y$; F exprimant l'effort de traction en kilogrammes, pour chaque millimètre de l'ordonnée y. Nous avons formé, pour le parcours total, de A en I, le tableau suivant de toutes les données numériques des quatre expériences :

1er *voyage. Vitesse moyenne*, 2,64; *charge remorquée*, 10 700 *kil.*

POINTS du parcours.	EFFORTS au dynamomètre.	EFFORTS d'élévation.	EFFORTS de traction.	COEFFICIENTS de traction.
A à *a*.....	454.42	288.90	165.52	0.0155
a à *b*.....	479.64	288.90	190.74	178
b à *c*.....	462.51	288.90	173.61	162
c à *d*.....	446.70	288.90	157.80	147
d à *e*.....	465.49	288.90	176.59	165
e à *f*.....	464.22	288.90	175.32	164
f à *G*.....	426.50	288.90	137.60	129
G à *H*....	536.32	308.85	227.47	212
De A en H.	464.11	288.90	175.21	164

2e *Voyage. Vitesse moyenne* 1,10; *Charge remorquée*, 10 650 *kil.*

POINTS du parcours.	EFFORTS au dynamomètre.	EFFORTS d'élévation.	EFFORTS de traction.	COEFFICIENTS de traction.
A à *a*. ...	431.81	287.55	144.26	0.0135
a à *b*.....	430.14	287.55	142.59	134
b à *c*.....	445.67	287.55	158.12	148
c à *d*.....	388.67	287.55	101.12	95
d à *e*.....	442.86	287.55	155.31	142
e à *G*.....	443.27	287.55	155.72	146
f à *g*.....	584.57	308.85	275.72	259
G à *H*....	318.55	117.15	201.40	189
De A en H.	434.02	287.55	146.47	137

3e *Voyage. Vitesse moyenne*, 1,83; *charge remorquée*, 10 600 *kil.*

POINTS du parcours.	EFFORTS au dynamomètre.	EFFORTS d'élévation.	EFFORTS de traction.	COEFFICIENTS de traction.
A à *a*.....	513.40	286.20	227.20	0.0214
a à *b*.....	475.16	286.20	188.96	178
b à *c*.....	477.57	286.20	191.37	181
c à *d*.....	445.67	286.20	159.47	150
d à *f*.....	468.49	286.20	182.29	172
G à *H*....	464.11	307.40	156.70	148
H à *I*....	304.06	116.60	187.46	170
De A en G.	477.54	286.80	191.34	181

4e Voyage. Charge remorquée, 7800 kil.

POINTS du parcours.	EFFORTS au dynamomètre.	EFFORTS d'élévation.	EFFORTS de traction.	COEFFICIENTS de traction.
	Ire PARTIE. — Vitesse moyenne, 1m.10.			
A à *a*.....	292.39	210.60	81.79	0.0105
	IIe PARTIE. — Vitesse moyenne, 1m.00.			
g à *g'*....	416.49	210.60	205.89	0.0264
g' à *b*....	312.29	210.60	101.69	130
b à *c*.....	329.59	210.60	118.99	153
c à *d*.....	354.49	210.60	143.89	184
d à *e*.....	371.90	210.60	161.30	207
e à *f*.....	339.49	210.60	128.89	165
f à *G*.....	357.02	210.60	146.62	188
G à *H*....	542.69	226.20	316.49	406
I à *M*....	282.39	85.80	196.59	252
De *g'* en G.	313.14	210.60	131.41	168

En déduisant de l'effort total, déterminé dans chacune des expériences, la composante du poids remorqué dans le sens de l'inclinaison, nous avons pu obtenir isolément la mesure de la portion de l'effort de traction afférente à la seule résistance des frottements.

Cette résistance, indiquée dans les tableaux sous la désignation d'effort de traction, a été divisée par la charge remorquée, pour fournir, dans chaque cas particulier, le coefficient de traction.

Ce coefficient de traction s'est élevé respectivement, dans chacune des trois principales expériences, à 0,0164, 0,0137, 0,0181, en moyenne à 0,0160, ce qui correspond à un soixante-troisième de la charge. On voit déjà que le plus petit coefficient de traction correspond à la plus faible vitesse; mais cet élément, qui a varié dans le rapport de 1 à 3, ne paraît pas cependant avoir exercé une influence considérable. Le coefficient, ainsi obtenu, est nécessairement beaucoup plus élevé que celui de 1/250, qui correspond à la traction ordinaire sur double rail saillant, et même que celui de 1/100 auquel donne lieu la double voie américaine à gorge; mais il est encore de beaucoup inférieur à celui de

1/25, qui correspondrait à la traction sur un macadam en aussi bon état, et par un aussi beau temps que celui du jour où l'essai a été fait.

En ce qui concerne les deux parcours du quatrième voyage, nous trouvons, de la même manière, des résultats bien différents.

Dans le premier cas, une partie seulement de la charge formée par le poids de la locomotive portait sur les roues de caoutchouc, et le coefficient de traction 0,0105, qui en résulte, correspond à la distribution de cette charge sur les deux roues, dans la proportion même qui convient au remorquage dans les conditions de l'expérience précédente.

Le second coefficient, 0,0168, s'applique presque entièrement à la résistance des bandages en caoutchouc sur le sol macadamisé, et l'on voit alors qu'il est peu différent de celui des wagons seuls.

Il aurait été certainement plus élevé si les roues avaient été du même diamètre et de la même largeur de jante. Si, du reste, on compare ce coefficient à celui qui ressort de l'expérience de traction, faite à la plus faible vitesse, on trouve déjà une augmentation de 0,0139 à 0,0168.

Dans le même parcours de 325 mètres se trouvaient comprises deux pistes particulières : l'une formée de longuerines, sur 18,32 de *c* en *d*, l'autre pavée, sur une longueur de 9,70. Ces deux circonstances se sont traduites, sur les diagrammes, d'une façon particulière :

Coefficients de traction.

VOYAGES.	MOYEN.	LONGUERINES.	PAVÉ.
1er voyage.........	0.0164	0.0147	0.0165
2e voyage.........	0.0137	0.0095	0.0147
3e voyage.........	0.0181	0.0150	0.0172
Moyennes......	0.0163	0.0133	0.0160
4e voyage.........	0.0168	0.0184	0.0207

La présence des longuerines a diminué le tirage d'une manière notable dans chacun des trois premiers voyages, la moyenne des

trois coefficients étant alors descendue de 163 à 133, et l'utilité de leur emploi se trouve ainsi mise en évidence.

La partie pavée n'a donné lieu à aucune modification. En ce qui concerne les bandages en caoutchouc, il semblerait, au contraire, par les chiffres du quatrième voyage, que la présence des longuerines est déjà défavorable, et celle du pavé beaucoup plus encore.

Au delà du point G, les diagrammes ont dû, au contraire, être étudiés avec attention, pour y reconnaître l'influence de la courbe et celle d'une rampe, réduite à 0,011, dans l'alignement suivant; aussi avons-nous fait un relevé spécial pour ces parcours, sans qu'il soit nécessaire de tenir compte des vitesses qui, dans chacun des voyages, sont restées à peu près les mêmes, bien qu'un peu moindres que dans le parcours correspondant de la rampe de $0^m,027$.

Le tableau suivant fait connaître, à ce point de vue, l'influence de ces circonstances différentes.

Coefficients de traction.

VOYAGES.	EN RAMPE de $0^m.027$ et alignement.	EN RAMPE de $0^m.029$ et courbe.	EN RAMPE de $0^m.011$ et alignement.
1er voyage.........	0.0164	0.0212	»
2e voyage.........	0.0137	0.0259	0.0189
3e voyage.........	0.0181	0.0148	0.0170
4e voyage.........	0.0168	0.0406	»

Les anomalies qui résultent de ces indications doivent être attribuées sans doute à la petitesse des parcours, dans lesquels l'origine n'a pu s'établir complétement, et nous n'en saurions tirer d'autre conséquence qu'au point de vue de l'énorme augmentation déterminée par la courbe sur la traction du caoutchouc.

En amont du point A, les diagrammes n'offrent d'intérêt que par rapport à l'ordonnée maximum qui représente l'effort développé au moment de la mise en marche. Cette ordonnée n'ayant jamais dépassé 51 millimètres, on en doit conclure que l'effort

n'a jamais été supérieur à 665 kilogrammes, ce qui suffit pour établir que les diverses parties du convoi étaient groupées de manière à ne pas donner lieu à des efforts trop brusques ou trop intenses.

Dans le quatrième voyage, nous avons tenu à calculer, de g en g', l'effort de mise en marche qui a doublé, par suite de l'inertie du train, la valeur du coefficient.

En résumé, les expériences du 13 août établissent, sur l'ensemble du système de traction de M. Larmanjat, un certain nombre de données pratiques qui peuvent être caractérisées ainsi qu'il suit :

1° Le coefficient de traction déduit de ces expériences, sur une rampe de 0,027, et abstraction faite du travail d'élévation, se trouve réduit, par l'emploi du double système de roues, à 1/63, ce système permettant ainsi, pour le même poids brut remorqué, l'abaissement du coefficient de traction habituel sur le bon macadam, dans le rapport de 25 à 63 ou de 0,40.

2° Cet avantage se trouve réduit, par rapport à l'effort total de remorquage, à mesure que les rampes deviennent plus grandes.

Pour une rampe de 0,030, par exemple, l'effort total, dans le système Larmanjat, serait 0,030 + 0,016 = 0,046 ; tandis que, sur une route ordinaire, il s'élèverait à 0,030 + 0,040 = 0,070. L'effort se trouverait encore réduit à 0,67 de sa valeur sur une route ordinaire.

3° Le poids utile du train remorqué est réduit dans une grande proportion, par suite du poids considérable des wagons et de la locomotive, et des essais devront être faits pour alléger le poids mort des wagons.

4° En ce qui concerne la locomotive, on a obtenu, déduction faite de l'effort d'élévation, deux coefficients tout à fait différents : l'un de 0,0105, extrêmement faible, l'autre de 0,0168, d'une valeur à peu près égale à celle du coefficient relatif au train remorqué. Une portion du poids total, 800 kilog. environ sur 7 800, roulant sur rail, si nous admettons pour cette partie un coefficient de 0,01, on trouve facilement pour les roues de caoutchouc, portant ensemble 7 000 kilogrammes, le coefficient 0,0176,

résultat qui doit être, sans aucun doute, attribué au diamètre relativement grand de ces roues, $1^m,10$.

5° Sur la rampe de 0,027, le système de M. Larmanjat tenait encore en réserve un grand excès d'adhérence, que l'on aurait pu facilement mettre en jeu, en reportant une grande partie du poids de la locomotive sur les roues motrices.

6° La petite locomotive du poids de 2700 kilogrammes, ayant traîné la grande locomotive et un wagon, $8200 + 2500 = 10700$, son adhérence est suffisante pour équilibrer la composante, suivant l'inclinaison de $0^m,027$, d'un poids total de :

$10\,700 + 2700 = 13\,400$ ou $361^k,60$, et satisfaire à une traction correspondant à la même charge, ou $13\,400 \times 0,016 = 214,40$; au total, $576^k,80$, qui suffiraient à l'entraînement sur un rail horizontal de $576,80 : 0,16 = 36\,050$ ou 13,35 fois le poids adhérent.

Nos expériences antérieures sur la locomotive routière de MM. Aveling et Porter ont montré que, sur une bonne route ordinaire et par un beau temps, l'adhérence ne correspondait pas à la traction d'une charge totale supérieure à 12 fois le poids adhérent.

Fait par l'ingénieur sous-directeur du Conservatoire des Arts et Métiers.

H. TRESCA.

Vu : le directeur, Général MORIN.

NOTA. Une nouvelle série d'expériences a été faite par M. Couronne, sous la direction de M. Rozat de Mandres, les 14 et 18 octobre, à la demande de M. Larmanjat, sans que nous ayons été invité à y assister.

Les roues employées lors de nos essais étaient primitivement à gorge, ou à double boudin, et M. Larmanjat y avait enlevé le boudin extérieur pour pouvoir se servir de l'autre dans la rai-

nure formée par un double rail. Il a craint que le rebord de la roue n'ait dans ces conditions porté quelquefois sur le sol, à l'extérieur de la voie, et dans les essais des 14 et 18 octobre, il s'est servi de roues à boudin central. Le coefficient de traction s'est trouvé réduit, d'après les indications de M. Couronne, dans l'alignement principal, à 0,00963 ou à 1/104.

La modification apportée peut en effet se traduire par un résultat favorable. Les déterminations numériques sont certainement exactes, mais jusqu'à ce que des expériences aient été réalisées sur un grand parcours, leurs résultats ne sauraient sérieusement modifier nos précédentes appréciations.

ESSAIS DYNAMOMÉTRIQUES

SUR LE TRAVAIL NÉCESSAIRE

A LA MARCHE D'UNE FILATURE DE LIN

PAR M. CORNUT.

M. Cornut, ancien élève de l'École polytechnique, ingénieur et directeur de la Compagnie linière de Saint-Quentin, à Hamégicourt, s'est proposé, au moyen d'expériences faites en service courant, de déterminer quelques-unes des données essentielles de son industrie.

En lui demandant l'autorisation de publier son travail, nous avons eu pour objet de montrer combien les expériences de cette nature sont utiles, et nous ne saurions trop recommander les mêmes soins aux industriels qui veulent acquérir des données certaines sur les conditions de leur travail. Un grand progrès d'émulation serait sans aucun doute la conséquence des recherches entreprises de cette façon dans les établissements similaires. (H. T.)

La force absorbée par les machines que la filature du lin met en œuvre est excessivement variable; voici les causes principales qui peuvent la faire varier :

1° *État d'entretien des pièces mécaniques qui composent la machine;*

2° *Huile employée au graissage;*

3° *Graissage journalier plus ou moins parfait;*

4° *État des courroies qui servent de transmissions pour les métiers;*

5° *Température ambiante et état hygrométrique des ateliers;*

6° *Poids des matières travaillées dans l'unité de temps, variation de l'étirage;*

7° *Vitesse particulière imprimée à chaque machine;*

8° *Pour les métiers à filer et les bancs à broches, la différence provenant d'une torsion plus ou moins grande suivant les n^os de fil;*

9° *Différence d'entretien et de propreté des machines, provenant du fait des ouvrières.*

Le temps et les appareils m'auraient manqué pour chercher à déterminer les variations de force qui reviennent à chacune de ces causes; mon but a été plus simple : déterminer pour notre usine la force totale absorbée par notre matériel, travaillant dans les conditions ordinaires de production et d'entretien.

Les chiffres que nous allons donner ne représenteront donc qu'une moyenne dans laquelle les éléments variables seront plus ou moins éliminés par le grand nombre des expériences.

Pour nous rendre compte de notre consommation de charbon, de la valeur productive de nos chaudières et de nos machines à vapeur, tous les jours nous pesons la quantité de charbon donnée au chauffeur; un compteur d'eau mesure la quantité d'eau introduite dans les chaudières et, vers midi, le chauffeur fait un essai des machines à vapeur à l'indicateur de Watt; les contre-maîtres, prévenus par le chauffeur, relèvent les noms des machines arrêtées au moment de l'essai. Les tracés de l'indicateur sont calculés par le planimètre polaire d'Amsler.

Nous inscrivons tous les jours les résultats obtenus sur un registre désigné sous le nom de Livre des machines à vapeur, et, à la fin de chaque mois, on fait la moyenne mensuelle, qui représente : la force absorbée par le matériel en activité, moins les machines arrêtées au moment des essais journaliers.

En faisant, d'un autre côté, la moyenne mensuelle des divers métiers arrêtés, en calculant la force de ces métiers et en ajoutant la somme ainsi obtenue au chiffre ci-dessus de la moyenne mensuelle, donnée par le chiffre du livre du chauffage, nous aurons : la force totale absorbée par le matériel.

Or, il est bien évident que si nous prenons cette moyenne, non pas pour un mois, mais pour huit mois, comme nous l'avons fait, nous obtiendrons ainsi la moyenne de 201 jours de travail industriel, c'est-à-dire le nombre très-approximatif de chevaux-vapeur nécessaires pour faire fonctionner industriellement tout le matériel, les causes d'erreurs les plus variables ayant pu se produire dans des sens tout à fait différents.

Nous allons entrer maintenant dans quelques détails.

Le tableau A est la copie exacte de notre livre des machines à vapeur pour le mois de février.

TABLEAU A.

Mois de Février 1872.

DATES.	JOURS.	Heures de travail.	Vide.	Température des gaz à leur sortie.	TEMPÉRATURE extérieure à 12 heures.	Nombre des tours.	Différence en plus.	Différence en moins.	Charbon.	Cendres.	Mâchefer.	Réunion.	0/0	Chevaux-vapeur Gauche Petit.	Chevaux-vapeur Gauche Grand.	Chevaux-vapeur Réunion Gauche.	Chevaux-vapeur Droite Petit.	Chevaux-vapeur Droite Grand.	Chevaux-vapeur Réunion Droite.	Réunion générale.	Charbon brûlé par jour : 400 kil. allumage, 800 kil. chauffage déduits.	Nombre de litres total au compteur d'eau.	Eau vaporisée par jour.	Charbon brûlé par cheval et par heure.	Eau vaporisée par kil. de charbon.	Pression barométrique.
1	J	12	71 1/2	220	+ 6	18251	251	»	2850	118	249	367	12.87	24.07	36.56	60.63	23.84	35.62	59.46	120.09	1950	974460	22680	1.353	9.25	764
2	V	12	72	220	+ 9	18303	303	»	2740	139	209	348	12.70	24.54	36.56	61.10	24.54	35.62	60.16	121.26	1810	994930	20470	1.264	8.74	761
3	S	11 3/4	71 1/2	220	+ 7	18047	47	»	2540	131	223	354	13.93	23.84	37.50	61.34	24.51	36.56	61.10	122.44	1640	1014770	19840	1.116	9.27	762
5	L	12	71 1/2	210	+ 8	18369	369	»	2850	131	224	355	12.45	25.71	41.25	66.96	24.07	42.18	66.25	133.21	1950	36810	22080	1.278	9.01	759
6	M	12	71 1/2	220	+12	18359	359	»	2750	121	233	354	12.87	25.71	38.43	64.14	24.07	34.68	58.75	122.89	1850	56900	20050	1.254	8.56	760
7	M	12	72	220	+12	18400	400	»	2600	145	209	354	13.61	24.77	42.18	66.95	22.44	37.50	59.94	126.89	1700	78010	21110	1.116	9.59	762
8	J	12	72	220	+11	18488	488	»	2700	160	197	363	13.44	21.73	35.62	57.35	23.14	36.56	59.70	112.05	1800	96870	20860	1.281	9.07	762
9	V	12	72	220	+ 8	18534	534	»	2750	170	200	370	13.45	23.37	36.56	59.93	23.84	38.43	62.27	122.20	1850	117190	20320	1.254	8.64	763
10	S	11 3/4	72	220	+ 8	18240	240	»	2550	157	195	352	13.80	22.20	36.56	58.76	24.31	37.50	61.81	120.57	1650	136330	19140	1.140	8.90	763
12	L	12	72	210	+ 5	18240	240	»	2950	155	215	370	12.54	24.31	42.18	66.49	27.34	45.93	73.27	139.76	2050	157130	20800	1.222	8.16	757
13	M	7	72	220	+ 6	10561	61	»	1700	111	140	251	14.76	23.84	41.25	65.09	24.54	37.50	62.04	127.13	800	168970	11840	898	9.10	756
14	M	12	72	220	+ 6	18241	241	»	2750	114	230	344	12.50	23.84	38.43	62.27	23.37	40.31	63.68	125.95	1850	189560	20590	1.224	8.80	758
15	J	12	72	220	+ 6	18226	226	»	2700	160	212	372	13.77	23.60	37.50	61.10	23.37	38.43	61.80	122.90	1800	210670	21110	1.220	9.17	753
16	V	12	72	220	+ 4	18247	247	»	2680	112	212	334	10.11	24.54	39.36	63.90	23.60	36.56	60.16	124.06	1780	229970	19300	1.195	8.46	756
17	S	11 3/4	72	220	+ 6	17907	282	»	2700	131	168	299	11.07	23.37	41.25	64.62	27.25	37.50	64.75	129.37	1800	251130	21160	1.159	9.20	761
19	L	12	72	220	+ 9	18163	163	»	2820	116	176	292	10.35	24.54	39.36	63.90	24.07	37.50	61.57	125.47	1920	272140	21010	1.275	8.68	760
20	M	12	72	220	+11	18073	73	»	2600	108	156	264	10.15	23.60	31.86	55.46	22.90	31.86	54.76	110.22	1700	290450	18310	1.285	8.32	762
21	M	12	72	230	+ 8	18255	255	»	2700	131	166	297	11. »	24.31	34.68	58.99	23.84	35.62	59.46	118.45	1800	311250	20800	1.266	8.17	765
22	J	12	72	240	+ 6	18216	216	»	2800	121	155	276	9.85	23.37	36.56	59.93	22.67	35.62	58.29	118.22	1900	331620	20370	1.339	8.48	767
23	V	12	72	240	+ 8	18310	310	»	2720	120	162	282	10.36	24.31	35.62	59.93	22.90	35.62	58.52	118.45	1820	350370	18750	1.280	8.08	759
24	S	11 3/4	72	240	+ 8	17970	345	»	2400	132	170	302	11.74	25.01	35.62	60.63	25.01	40.31	65.32	125.95	1672	370390	20320	1.130	9.35	756
26	L	12	72	230	+10	18125	125	»	2702	132	192	324	11.99	23.84	35.62	59.46	24.07	30.96	55.03	114.49	1802	391120	20430	1.311	9.40	752
27	M	12	72	230	+ 3	18292	292	»	2850	151	206	357	12.52	25.17	40.31	65.48	25.94	38.43	64.37	129.85	1950	412730	21610	1.251	9.38	764
28	M	12	72	240	+ 1	18154	154	»	2840	146	194	340	11.97	25.01	39.36	64.37	24.77	34.68	59.45	123.82	1940	432410	19680	1.305	8.06	764
29	J	12	72	240	+ 5	18052	52	»	2800	135	167	302	10.78	24.07	37.50	61.57	25.17	30.93	56.10	117.67	1900	453110	20700	1.345	8.62	766
Moyennes		24 j. 6h	71.92	224.40	+7.38	18286			2743 67214				12.18							123.13			20544	1.230	8.82	760

Je ne discuterai pas les renseignements intéressants fournis par ce tableau, je ne prendrai que les chiffres concernant la force développée par nos machines.

Nos machines sont du système de Woolf, jumelles et verticales, construites par M. Boyer, de Lille. Nous avons fait séparer les résultats des deux machines pour nous rendre compte de la charge que chacune supporte individuellement, ce qui nous permet, quand la différence est trop grande, de faire rectifier par le chauffeur son introduction de vapeur. La moyenne du mois a été de 123,13 chevaux-vapeur.

Le tableau B nous donne les métiers arrêtés journellement au moment des essais, soit pour nettoyage, démontage des métiers à filer, ou toute autre cause.

TABLEAU B. **Métiers arrêtés en février 1872.**

DATES.	PEIGNEUSES	CARDES.	ÉTIRAGES.	BANCS à broches.	ÉTALEUSES	BROCHES au sec.	BROCHES au mouillé.
1	1	1	8	4	1	150	»
2	1	1	7	2	1	225	»
3	1	1	5	2	1	75	»
5	1	1	5	3	»	150	»
6	1	1	5	3	»	225	208
7	1	1	4	3	2	225	208
8	1	2	10	3	2	150	208
9	1	»	6	3	»	225	208
10	1	4	6	4	1	150	»
12	1	1	6	4	»	150	»
13	1	3	7	2	»	75	208
14	1	4	6	2	1	75	»
15	1	1	7	5	»	150	208
16	4	2	8	1	»	150	»
17	4	2	6	5	1	300	»
19	4	2	6	3	1	150	»
20	4	2	6	4	1	75	208
21	4	2	8	3	1	150	416
22	4	3	8	5	1	150	»
23	4	»	6	5	2	225	208
24	4	1	3	4	»	150	208
26	4	2	8	3	1	150	»
27	4	»	4	3	»	150	»
28	1	1	5	2	1	150	»
29	1	»	4	4	1	75	»
	55	38	154	82	19	3900	3288
Moyennes	2.2	1.52	6.16	3.28	0.76	156	91.52

Les nombres de la dernière ligne représentant la moyenne des métiers arrêtés par jour, en calculant le nombre de chevaux-vapeur nécessaires pour la marche de chacune de ces machines et ajoutant le total au nombre 123,13 chevaux-vapeur, ci-dessus indiqué, nous aurons l'expression de la force absorbée par notre matériel pendant le mois de février.

Nous avons expliqué que pour tenir compte des éléments si divers qui influent sur la force nécessaire à la marche d'un matériel, il ne fallait se servir que des chiffres représentant la moyenne d'un grand nombre d'expériences ; c'est dans ces conditions que nous nous sommes placé pour obtenir le travail absorbé par chaque machine, travail que nous avons maintenant à calculer.

CALCUL DU TRAVAIL DÉPENSÉ PAR LES TRANSMISSIONS ET LES MACHINES.

Voici la marche suivie : à une heure, aussitôt que les métiers avaient ralenti, les ouvrières sortaient pour le dîner, et le chauffeur remettait sa machine à sa vitesse normale de 25 tours par minute.

Nous opérions ainsi pour éviter la déperdition de calorique que subit tout matériel en repos, déperdition qui augmente le travail absorbé au moment de la mise en route. Après dix minutes de marche à blanc, toutes les courroies étant placées sur les poulies folles des machines, on faisait l'essai à l'indicateur de Watt sur les quatre cylindres ; le calcul de ces courbes nous donnait la mesure du travail absorbé par les machines à vapeur et par les transmissions et les courroies.

La moyenne de 42 essais faits depuis le 1er août 1871 jusqu'au 28 février 1872 nous a donné le chiffre de 30,41 chevaux-vapeur = T. Le maximum a été, le 9 décembre 1871, 32,10 chevaux-vapeur. Le minimum a été, le 18 juillet 1871, 28,40 chevaux-vapeur.

On voit que l'écart entre ces deux chiffres est de 3,50 chevaux-vapeur, soit 10,90 p. 100, ce qui provenait surtout des différences de vitesse des machines sous une aussi faible charge, malgré toutes les précautions que l'on prenait pour les maintenir à la vitesse de régime de 25 tours par minute.

CALCUL DU TRAVAIL DÉPENSÉ PAR LES CARDES.

Nos cardes se composent de :

1° Une carde 5/6, 6 systèmes de travailleur et débourreur, 3 doffer sur le devant;

2° Trois cardes 4/6, 6 systèmes de travailleur et débourreur, 2 doffer sur le devant.

Nous opérions comme nous l'avions indiqué tout à l'heure.

A une heure dix minutes de l'après-midi, la machine étant à sa vitesse, toutes les courroies des machines portées sur les poulies folles et les cardes. qui n'avaient pas été arrêtées, mais seulement ralenties, ayant repris leur vitesse normale, on faisait un essai à l'indicateur; nous obtenions ainsi la somme du travail dépensé par les machines, les transmissions, les courroies, et les quatre cardes.

L'essai terminé et les cardes arrêtées, on faisait une nouvelle expérience qui nous donnait, pour ce jour, la force prise par la machine, les transmissions et les courroies. La différence des deux chiffres ainsi obtenus représente le travail correspondant aux 4 cardes.

Douze expériences nous ont donné une moyenne de 8,42 chevaux-vapeur. Le maximum et le minimum ont été obtenus : le 20 octobre 1871, 9,10 chevaux-vapeur; le 10 janvier 1872, 7,40 chevaux-vapeur. La différence entre ces deux chiffres est de 1,70 cheval-vapeur, soit 18,68 p. 100.

Une des principales causes de cette variation provient de la différence des quantités de matières que nous mettions sur les tabliers. Le 20 octobre, nous préparions, en effet, du n° 6 étoupes pions, et le poids de matière était de 327 grammes par division du tablier. Le 10 janvier, nous cardions du 16 étoupe, et la charge par division du tablier n'était plus que de 82 grammes.

CALCUL DU TRAVAIL DÉPENSÉ PAR LES ÉTIRAGES ET ÉTALEUSES.

La moyenne de 22 essais effectués dans les conditions que nous venons d'indiquer nous a donné pour nos 14 étirages et étaleuses, comprenant 29 têtes, un chiffre de 6,496 chevaux-vapeur.

Les maximum et minimum se sont produits : le 17 janvier 1872, 17,08 chevaux-vapeur; le 8 septembre 1871, 5,52 chevaux-vapeur. La différence est de 1,56 cheval-vapeur, soit 19,85 p. 100.

CALCUL DU TRAVAIL DÉPENSÉ PAR LES BANCS A BROCHES.

Nous possédons six bancs à broches à cônes différentiels, donnant un total de 330 broches. La moyenne de 27 expériences est de 8,67 chevaux-vapeur pour 330 broches, soit 2,627 chevaux-vapeur par 100 broches. Les maximum et minimum ont eu lieu : le 30 décembre 1871, 9,02 chevaux-vapeur; le 18 juillet 1871, 8,25 chevaux-vapeur. La différence est de 9,59 p. 100.

CALCUL DU TRAVAIL DÉPENSÉ PAR LES PEIGNEUSES.

Notre peignage mécanique comprend : une peigneuse, système et construction Combes, de 6 presses, une peigneuse système Combes construite par Rousselle et Dossche, de 8 presses, 2 peigneuses système Lowry, construites par J. Ward, une de 6 presses, une de 8 presses. La moyenne de 16 essais nous a donné pour les 4 peigneuses un chiffre de 2,229 chevaux-vapeur. La différence entre le maximum et le minimum n'était que de 13,60 p. 100.

CALCUL DU TRAVAIL DÉPENSÉ PAR LES FILATURES.

Nos filatures se composent de :

Filature au sec, 1480 *broches*.

8 métiers de	3 p^es	3/4 à 68 broches,	soit	544	broches.
4	» 3	1/2 à 71	»	296	»
8	» 3	1/4 à 80	»	640	»

Filature au mouillé, 2080 broches.

12 métiers de	2 p^es	3/4 à 100 broches,	soit	1200	broches.
8	» 2	1/2 à 110	»	880	»

Nous filons depuis le n° 6 anglais, étoupe sec, jusqu'au n° 22

lin sec; au mouillé depuis le 20 étoupe jusqu'au n° 50 lin; le poids de la matière sur les métiers et la torsion variant beaucoup, il était urgent de faire de plus nombreux essais.

Voici comment nous avons opéré : les samedis étaient consacrés aux essais des filatures; à 6 heures du soir, toutes les machines de préparation et de peignage étant arrêtées pour le nettoyage, les courroies jetées en bas, il ne restait plus en marche que les deux filatures. Les contre-maîtres relevaient exactement le nombre de broches arrêtées dans les filatures au sec et au mouillé, et le chauffeur faisait un essai, à l'indicateur de Watt, dont le calcul nous donnera une somme de travail que nous appellerons E_1, en représentant par T_1 le travail absorbé par la machine, les transmissions et les courroies des métiers à filer sec ou mouillé sur les poulies folles;

Les autres courroies des métiers de préparation étant mises bas; comme nous l'avons déjà indiqué, ce chiffre différera essentiellement du nombre $T = 30,41$ chevaux-vapeur indiqué en commençant.

La moyenne de dix-neuf essais nous donne $T_1 = 25,50$ chevaux-vapeur.

Soient S_1 le travail absorbé par les broches de la filature au sec, dont le nombre est connu, puisqu'il est égal à 1480, moins le chiffre des broches porté par le contre-maître comme arrêtées pendant l'essai;

M_1 le travail absorbé par les broches de la filature au mouillé, déduction faite des broches arrêtées.

Nous avons évidemment :

(1) $$E_1 = T_1 + S_1 + M_1.$$

A sept heures moins le quart, la filature au mouillé était arrêtée et ses courroies enlevées des poulies folles.

Un essai avait lieu sur la filature au sec et, en nous servant d'annotations analogues à celles que nous avons adoptées pour les premiers essais, nous aurons :

(2) $$E_2 = T_2 + S_2.$$

T_2 sera différent de T_1, puisqu'il ne comprend plus que la force

absorbée par la machine, les transmissions et les courroies de la filature au sec.

Une moyenne de onze essais nous donne :

$$T_2 = 23,10 \text{ chevaux-vapeur.}$$

De l'expression (2) nous tirons :

$$S_2 = E_2 - 23,10 \text{ chevaux-vapeur.}$$

Ce qui nous donne le travail correspondant au nombre de broches de la filature au sec, en activité au moment du deuxième essai.

Pour trouver le travail absorbé par la filature au mouillé, il nous faudrait connaître S_1 qui pourrait être différent de S_2, suivant que le nombre des broches arrêtées serait le même ou différerait dans les deux expériences.

Néanmoins nous pouvons déduire S_1 de S_2.

Supposons, en effet, que S_2 soit le travail absorbé par la filature au sec totale, moins 75 broches qui étaient arrêtées, nous avons :

$$\frac{S_2}{1480\text{-}75} = \text{la force absorbée par une broche.}$$

Dans l'essai E_1 au contraire, il y avait, je suppose, 225 broches arrêtées, le nombre des broches en activité était donc seulement de $1480 - 225 = 1255$, et la force nécessaire à leur marche ou S_1 sera :

$$1255 \times \frac{S_2}{1480\text{-}75} = S_1; \text{ d'où } S_1 = \frac{1255}{1405} S_2.$$

Remplaçant dans l'expression (1) T_1, par sa valeur 25,50 chevaux-vapeur, S_1 par son expression en S_2 qui est connue, nous avons :

$$E_1 = 25,50 \text{ chevaux-vapeur} + \frac{1255}{1405} S_2 + M_1.$$

Mais la valeur de E_1 nous est donnée par le calcul du planimètre polaire, d'où nous déduisons :

$$M_1 = E_1 - 25,50 \text{ chevaux-vapeur} - \frac{1255}{1405} S_2.$$

Nous arrivons ainsi à la valeur réelle de la force absorbée par les broches de la filature au mouillé.

Le tableau C donne les détails et les résultats obtenus ainsi dans vingt expériences, du 3 juin au 30 décembre 1871.

TABLEAU C.

DATES.	Nombre de broches filature au mouillé.	Nombre de broches filature au sec.	Nombre de broches arrêtées au sec. Essais N° 1.	Nombre de broches arrêtées au mouillé. Essais N° 1.	E_1 Force des deux filatures et parties des transmissions Essais N° 1.	T_1 Force des parties de transmissions dans les Essais N° 1.	Force des deux filatures sans transmission.	Nombre de broches arrêtées au sec. Essais N° 2.	E_2 Force de la filature au sec et partie des transmissions Essais N° 2.	T_2 Force des parties de transmissions dans les Essais N° 2.	S_2 Force de la filature au sec. Essais N° 2.	S_1 Force de la filature au sec dans les conditions des Essais N° 1.	M_1 Force de la filature au mouillé de suite par différence	Nombre de chevaux par 100 broches au sec.	Nombre de chevaux par 100 broches au mouillé.
1871 Juin 3.....	2080	1480	»	208	117.05	25.50	91.55	»	75.13	23.10	52.03	52.03	40.52	3.51	2.16
— Juin 10.....	2080	1480	150	208	124.08	25.50	88.58	150	68.57	23.10	45.47	40.93	47.65	3.42	2.54
— Juillet 8....	2080	1480	75	208	113.48	25.50	87.98	75	70.39	23.10	47.29	42.93	45.05	3.36	2.40
— Juillet 22....	2080	1480	»	104	117.28	25.50	91.78	»	71.56	23.10	48.46	48.46	43.22	3.27	2.18
— Juillet 29....	2080	1480	»	»	119.56	25.50	91.06	»	69.69	23.10	46.59	46.59	47.47	3.14	2.28
— Août 5.....	2080	1480	»	»	115.58	25.50	90.08	»	67.61	23.10	41.54	41.54	45.54	3.01	2.19
— Août 26.....	2080	1480	75	»	119.39	25.50	93.89	75	66.18	23.10	43.08	40.93	52.96	3.06	2.54
— Septembre 2.	2080	1480	»	»	117.10	25.50	91.60	»	71.67	23.10	48.57	48.57	43.03	3.28	2.06
— Septembre 9.	2080	1480	»	208	113.10	25.50	87.60	»	71.17	23.10	48.07	48.07	39.53	3.24	2.11
— Septembre 23.	2080	1480	»	208	115.18	25.50	89.68	»	67.42	23.10	41.32	41.32	45.36	2.98	2.42
— Septembre 30.	2080	1480	»	»	119.21	25.50	93.61	»	67.23	23.10	41.13	41.13	49.12	3.01	2.38
— Octobre 7...	2080	1480	»	»	123.19	25.50	97.69	»	71.90	23.10	48.80	48.80	48.89	3.29	2.35
— Octobre 21...	2080	1480	»	»	115.69	25.50	90.19	»	68.57	23.10	45.47	45.17	44.72	3.07	2.15
— Octobre 28...	2080	1480	75	»	117.29	25.50	91.79	75	72.10	23.10	49 »	49 »	42.79	3.48	2.05
— Novembre 11	2080	1480	»	»	122.67	25.50	97.17	»	73.97	23.10	50.87	50.87	46.30	3.43	2.22
— Novembre 18.	2080	1480	75	»	116.58	25.50	91.18	75	68.36	23.10	45.26	45.26	45.82	3.22	2.20
— Décembre 2.	2080	1480	»	»	117.52	25.50	92.02	»	72.79	23.10	49.59	49.69	42.33	3.35	2.03
— Décembre 16.	2080	1480	75	»	110.59	25.50	85.09	»	68.69	23.10	45.59	43.31	41.78	3.08	2.01
— Décembre 23.	2080	1480	225	»	109.79	25.50	81.29	225	58.31	23.10	35.21	35.21	49.08	2.80	2.36
— Décembre 30.	2080	1480	75	»	114 »	25.50	88.50	»	69.76	23.10	44.66	41.33	44.17	3.15	2.12
									Moyennes.................			45.67	45.35	3.21	2.24

Les deux dernières colonnes du tableau donnent les résultats de chaque essai, par 100 broches.

Les moyennes seraient :

100 broches au sec, 3,21 chevaux-vapeur.
100 » au mouillé, 2,24 chevaux-vapeur.

Et par suite, pour nos deux filatures :

Filature au sec, 1480 broches, 47,29 chevaux-vapeur.
» au mouillé, 2080 broches, 46,59 chevaux-vapeur.

L'inspection de ce tableau montre les variations considérables qui peuvent se produire, variations qui proviennent des causes indiquées au commencement de cette note, et aussi de la diversité des nos de fils fabriqués pendant cette période d'essais.

Le tableau D donne le relevé du nombre partiel de broches en marche, suivant les nos de fil, pour la filature au sec.

TABLEAU D.

Filature au sec.

DATES.	Nombre total de broches en marche.	Nombre partiel de Broches en marche, suivant Numéro — LIN		ÉTOUPE					Force de la filature au sec Essais nº 2
		16	20	6	8	10	12	14	
1871 Juin 3	1480	»	936	204	204	»	»	136	52.03
— Juin 10	1330	»	854	136	340	»	»	»	45.47
— Juillet 8	1405	861	»	204	340	»	»	»	47.29
— Juillet 22	1480	936	»	272	272	»	»	»	48.46
— Juillet 29	1480	»	936	204	»	340	»	»	46.59
— Août 5	1480	936	»	204	»	204	136	»	44.54
— Août 26	1405	936	»	136	»	333	»	»	43.08
— Septembre 2	1480	»	714	»	»	340	284	»	48.57
— Septembre 9	1480	»	714	136	68	»	562	»	48.08
— Septembre 23	1480	»	788	136	272	»	284	»	44.32
— Septembre 30	1480	»	788	136	272	68	216	»	44.59
— Octobre 7	1480	»	788	136	»	340	216	»	49.74
— Octobre 21	1480	»	640	136	340	364	»	»	45.47
— Octobre 28	1480	»	640	136	340	364	»	»	49.00
— Novembre 11	1480	»	640	136	272	432	»	»	50.87
— Novembre 18	1480	»	400	»	340	426	314	»	45.26
— Décembre 2	1480	»	400	»	272	420	148	240	49.69
— Décembre 16	1405	»	324	»	544	»	»	536	43.31
— Décembre 23	1255	»	235	»	551	»	470	»	35.21
— Décembre 30	1480	»	400	»	272	»	808	»	44.33

Pour le lin, les variations ont été :

Du n° 16 pesant 34 kil. au paquet.
au n° 20 » 28 » »

Et pour les étoupes :

Du n° 6 pesant 90 kil. au paquet.
au n° 14 » 40 » »

Il ne m'est donc pas possible de déduire de ces données les chiffres particuliers représentant le travail absorbé par 100 broches pour filer un numéro désigné d'avance; le seul résultat que nous puissions indiquer est celui-ci :

Une filature de lin et étoupe à sec composée dans les rapports suivants :

640 broches 3 p. 1/4,
296 » 3 » 1/2,
544 » 3 » 3/4,

demande, en marche industrielle, pour filer la série des n°s que comportent les dimensions de ces broches, une puissance totale de 47,50 chevaux-vapeur ou de 3,20 chevaux-vapeur par 100 broches.

Le tableau E donne le relevé du nombre partiel des broches en marche, suivant les n°s de fil, pour la filature au mouillé. On remarque que, dans ce tableau, le nombre de numéros de fils qui se trouvaient en filature à chaque essai est beaucoup moins considérable que pour la filature au sec; nous avons donc pu, en combinant ces expériences, arriver à établir les chiffres représentant approximativement le travail absorbé par 100 broches des n°s 25, 28, 30.

TABLEAU E.

Filature au mouillé.

DATES.	Nombre de broches total en marche.	Nombre partiel de Broches en marche, suivant Numéro						Force de la filature au mouillé.	FORCE ABSORBÉE par 100 broches pour filer au mouillé les Nos			
		LIN			ETOUPE							
		25	28	30	16	25	30		25	28	30	16
1871 Juin 3	1872	1036	436	»	»	200	200	40.52	»	»	»	»
— Juin 10	1872	1672	»	»	»	200	200	47.65	2.31	»	»	»
— Juillet 8	1872	»	»	1472	400	»	»	45.05	»	»	»	3.20
— Juillet 22	1976	1876	»	»	100	»	»	43.22	2.13	»	»	3.20
— Juillet 29	2080	1880	»	»	200	»	»	47.47	2.18	»	»	3.20
— Août 5	2080	»	»	1880	200	»	»	45.54	»	»	2.08	»
— Août 26	2080	1680	»	200	»	200	»	52.06	»	»	»	»
— Septembre 2	2080	1880	»	»	»	»	200	48.03	2.29	»	»	»
— Septembre 9	1872	1872	»	»	»	»	»	39.53	2.11	»	»	»
— Septembre 23	1872	1872	»	»	»	»	»	45.36	2.42	»	»	»
— Septembre 30	2080	»	»	1980	»	100	»	49.12	»	»	2.37	»
— Octobre 7	2080	»	»	1980	»	100	»	49.58	»	»	2.39	»
— Octobre 21	2080	»	»	2080	»	»	»	44.72	»	»	2.15	»
— Octobre 28	2080	»	»	2080	»	»	»	42.79	»	»	2.05	»
— Novembre 11	2080	»	»	2080	»	»	»	46.30	»	»	2.22	»
— Novembre 18	2080	»	2080	»	»	»	»	45.82	»	2.20	»	»
— Décembre 9	2080	»	»	2080	»	»	»	42.33	»	»	2.03	»
— Décembre 16	2080	»	2080	»	»	»	»	41.78	»	2.01	»	»
— Décembre 23	2080	»	2080	»	»	»	»	50.01	»	2.36	»	»
— Décembre 30	2080	»	»	2080	»	»	»	44.17	»	»	2.12	»
							Moyennes.....	45.35	2.24	2.19	2.17	3.20

Nous avons mis ces chiffres dans les colonnes de droite du tableau E qui donnerait :

Travail absorbé par 100 broches pour filer au mouillé les numéros

25	 2,24	chevaux-vapeur.
28	 2,19	»
30	 2,17	»

Je ferai remarquer que les expériences ne me paraissent pas assez nombreuses, surtout en ce qui concerne les nos 25 et 28, pour donner à ces chiffres une autre valeur que celle d'un simple renseignement.

L'influence considérable du poids des matières travaillées et de la torsion, sur le travail absorbé par les machines, n'est pas contestable ; mais voici les résultats d'une série d'expériences, qui pourront donner une idée des variations provenant de ce fait.

Du 27 janvier au 30 mars 1872, nous filions au mouillé des

N° 40	pesant	14	kil.	au paquet.
N° 45	»	12	»	»
N° 70	»	8	»	»

Tandis que, dans les expériences du tableau C, nous opérions encore sur les

N° 25	pesant	22	kil.	au paquet.
N° 28	»	20	»	»
N° 30	»	18	»	»

Nous avons fait des essais spéciaux sur la filature au mouillé pour les nos 40, 45, 70 ; les résultats sont consignés dans le tableau F, et on voit, dans ce cas, la moyenne du nombre des chevaux-vapeur par 100 broches tomber à 1,72 au lieu de 2,24, moyenne donnée par le tableau G.

TABLEAU F.

DATES.	Nombre de broches filature au mouillé.	Force de la filature au mouillé et partie des transmissions.	Force des parties de transmissions.	Force de la filature au mouillé.	Nombre de chevaux par 100 broches au mouillé.
1872 Janvier 23...	2080	58.51	23.10	35.41	1.70
— Février 3...	2080	60.95	23.10	37.85	1.82
— Février 10...	2080	56.18	23.10	33.08	1.59
— Février 17...	2080	60.85	23.10	37.75	1.81
— Février 24...	2080	60.38	23.10	37.28	1.79
— Mars 9.....	2080	57.33	23.10	33.23	1.64
— Mars 16.....	2080	58.29	23.10	35.09	1.69
		Moyennes.............		35.82	1.72

Le tableau G donne la répartition du nombre de broches en marche par rapport à chaque numéro de fil.

TABLEAU G. **Filature au mouillé.**

DATES.	Nombre de broches en marche.	Nombre partiel de broches en marche suivant numéro — LIN — 40	45	70	Force de la filature au mouillé.
1872 Janvier 23...	2080	1000	872	208	35.41
— Février 3...	2080	1000	640	440	37.85
— Février 10...	2080	1000	640	440	33.08
— Février 17...	2080	1000	640	440	37.75
— Février 24...	2080	1000	640	440	37.28
— Mars 9.....	2080	1000	640	440	34.23
— Mars 16.....	2080	1000	640	440	35.19
			Moyenne...............		35.82

Les résultats de ces diverses expériences prouvent qu'une filature au mouillé, composée, comme la nôtre, dans les proportions de

880 broches, 2 p^{es} 1/2,
1200 » 2 » 3/4,

absorberait en marche industrielle, pour filer des nos 25 à 30, une force moyenne de 46,59 chevaux-vapeur, soit 2,24 chevaux-vapeur par 100 broches; pour filer des nos 40 à 70 la force moyenne descendrait à 35,82 chevaux-vapeur, soit 1,72 cheval-vapeur par 100 broches.

CALCUL DU TRAVAIL TOTAL DÉPENSÉ PAR LE MATÉRIEL.

Nous pouvons maintenant nous rendre compte de la force totale nécessaire à la mise en travail de nos machines, comprenant : machines à vapeur, transmissions, machines de préparation et de filature, etc.

Le travail des machines à vapeur nous donne les moyennes mensuelles des essais journaliers; en y ajoutant, d'après les chiffres indiqués ci-dessus, la moyenne mensuelle des métiers arrêtés, nous aurons la force totale de chaque mois.

Le tableau H nous donne ces relevés du 1er juillet 1871 au 1er mars 1872, c'est-à-dire pendant 8 mois ou 200 jours de travail.

TABLEAU H.

Calcul de la force totale absorbée par le matériel en travail.

DATES.	Moyenne mensuelle donnée par le livre des machines.	Force des moyennes mensuelles des machines arrêtées au moment des essais journaliers, calculée d'après les expériences directes.	TOTAL.
1871 Juillet	132.37	15.48	147.85
— Août	130 61	15.46	146.07
— Septembre	135.12	18.55	153.67
— Octobre	136.26	15.14	151.40
— Novembre	135.06	15.89	150 95
— Décembre	132.15	20.01	152.16
1872 Janvier	125.16	17.58	142.74
— Février	123.13	18.92	142.05
		Moyenne	148.36

La moyenne de 148,36 chevaux-vapeur représente la force

totale absorbée par notre matériel en travail, dans les conditions ordinaires et variables de production et d'entretien.

Nous avons un contrôle immédiat de ce chiffre; en effet, les expériences directes que nous venons de décrire nous ont permis d'obtenir, avec une assez grande approximation, la force nécessaire au travail de chaque genre de machines en particulier; nous pouvons donc obtenir ainsi, en dehors de nos essais journaliers, une nouvelle valeur de notre force totale.

Le tableau I qui représente ce calcul nous donne, par ce nouveau procédé, une force totale de 151 chevaux-vapeur.

TABLEAU I.

Résultat d'expériences faites sur nos diverses machines avec l'indicateur de Watt. Calcul de la force employée par chaque machine. Résultat d'expériences directes.

DÉSIGNATION.	Force des unités.	TOTAL.
Transmissions et machines	»	30.41
4 cardes (3 cardes 4/5 et 1 carde 5/6)	2.105	8.42
14 étirages ou 156 rubans (soit 31 têtes)	0 464	7.19
4 peigneuses	0.555	2.22
6 bancs à broches, soit 330 broches .... les 100 broches.	2.627	8.67
8 métiers au sec, 3P· 3/4, à 68br. = 544br.		
8 — 3 1/4, à 80 = 640 } 1480 br. les 100 br.	3.21	47.50
4 — 3 1/2, à 74 = 296		
12 mét. au mouillé, 2 3/4, à 100 = 1200 } 2080 br. les 100 br.	2.24	46.59
8 — 2 1/2, à 110 = 880		
		151.00

La différence des deux chiffres est de 151 chevaux-vapeur à 148,36 chevaux-vapeur = 1,74 cheval-vapeur, soit 2,64 p. 100, approximation très-suffisante et qui aurait été encore plus certaine si, dans les expériences directes sur chaque machine, j'avais établi les moyennes sur un plus grand nombre d'expériences.

Je serais heureux si plusieurs de mes confrères entreprenaient des expériences analogues dans leurs usines; nous arriverions ainsi à résoudre bien des questions obscures encore dans notre industrie.

Je puis, du reste, leur garantir que tous les appareils nécessaires à ces observations sont relativement d'un prix modique, qu'ils peuvent être mis en œuvre par des chauffeurs et des comptables sans instruction spéciale, et qu'enfin le temps à consacrer par jour n'est que de sept minutes pour le chauffeur qui fait quatre essais, un sur chaque cylindre.

Quinze minutes suffiront pour le comptable qui procède au calcul et à la quadrature des courbes par le planimètre polaire.

C'est là une perte de temps qui n'est pas appréciable dans une journée de douze heures.

NOTICE HISTORIQUE

SUR LE

SYSTÈME MÉTRIQUE

SUR SES DÉVELOPPEMENTS ET SUR SA PROPAGATION

PAR LE GÉNÉRAL MORIN.

Au moment où, après un laps de temps presque séculaire, la grande pensée qui, sous le règne de Louis XVI et sur la proposition de M. de Talleyrand, avait conduit, en 1790, l'Assemblée nationale à faire étudier la question de l'établissement d'un système uniforme de poids et de mesures paraît sur le point de recevoir la sanction universelle des nations éclairées, il ne sera peut-être pas inutile de faire connaître par quelle marche lente, mais continue, la France, malgré les graves événements qui se sont succédé depuis cette époque, a toujours poursuivi la réalisation de cette idée civilisatrice.

Il serait au moins superflu de reproduire, même succinctement, l'exposition si claire que, dans son discours préliminaire sur la mesure de la méridienne, Delambre a donnée de la marche des opérations longues et délicates qu'il a été chargé d'exécuter avec Méchain [1].

Mais s'il convient pour cela de renvoyer au bel ouvrage intitulé *Bases du système métrique*, publié par les soins de l'Académie des sciences, il ne sera peut-être pas hors de propos de rappeler succinctement à ceux qui s'occupent de cette question les difficultés, les dangers, les fatigues, les tribulations de tous

1. *Bases du Système métrique décimal*, Méchain et Delambre.

genres auxquels ont été exposés, pendant le cours de leurs opérations, des savants illustres, dont le dévouement doit être regardé comme un titre aussi honorable pour leur mémoire que la science profonde dont ils ont fait preuve dans leurs travaux. Bien des geodésistes ont entrepris, avant et après Delambre et Méchain, des opérations analogues; beaucoup se sont occupés, dans le calme du cabinet, de discuter, de comparer l'ensemble des résultats obtenus sur divers méridiens par des mesures d'arcs plus ou moins grands; bien des critiques se sont exercés à découvrir et à signaler dans leurs travaux de petites erreurs, inséparables de toute œuvre humaine; mais aucun n'a acquis le droit de se montrer si difficile ni si sévère par une abnégation et un dévouement pareils à ceux dont ils ont fait preuve.

On en pourra juger par le résumé suivant des contrariétés qu'ils ont éprouvées et des dangers qu'ils ont courus.

Nous rappellerons d'abord le texte du décret rendu par l'Assemblée nationale, le 8 mai 1790, et sanctionné par le roi le 22 août de la même année, parce qu'il montre dans quel esprit libéral envers toutes les nations civilisées le projet était conçu.

ASSEMBLÉE NATIONALE

Décret du 8 *mai* 1790

Sanctionné par le Roi, le 22 août 1790.

« L'Assemblée nationale, désirant faire jouir à jamais la France entière de l'avantage qui doit résulter de l'uniformité des poids et mesures, et voulant que les rapports des anciennes mesures avec les nouvelles soient clairement déterminés et facilement saisis, décrète que Sa Majesté sera suppliée de donner des ordres aux administrations des divers départements du royaume, afin qu'elles se procurent, qu'elles se fassent remettre par chacune des municipalités comprises dans chaque département, et qu'elles envoient à Paris, pour être remis au secrétaire de l'Académie des sciences, un modèle parfaitement exact des différents poids et des mesures élémentaires qui y sont en usage.

« Décrète ensuite que le Roi sera également supplié d'écrire à Sa Majesté Britannique, et de la prier d'engager le Parlement

d'Angleterre à concourir, avec l'Assemblée nationale, à la fixation de l'unité naturelle des mesures et des poids; qu'en conséquence, sous les auspices des deux nations, des commissaires de l'Académie des sciences de Paris pourront se réunir en nombre égal avec des membres choisis de la Société royale de Londres, dans le lieu qui sera jugé respectivement le plus convenable, pour déterminer à la latitude de 45 degrés, ou toute autre latitude qui pourrait être préférée, la longueur du pendule, et en déduire un module invariable pour toutes les mesures et pour les poids; qu'après cette opération, faite avec toute la solennité nécessaire, Sa Majesté sera suppliée de charger l'Académie des sciences de fixer avec précision, pour chaque municipalité du royaume, les rapports de leurs anciens poids et mesures avec le nouveau module, et de composer ensuite, pour l'usage de ces municipalités, des livres usuels et élémentaires où seront indiquées avec clarté toutes ces proportions.

« Décrète, en outre, que ces livres élémentaires seront adressés à la fois dans toutes les municipalités, pour y être répandus et distribués; qu'en même temps, il sera renvoyé à chaque municipalité un certain nombre de nouveaux poids et mesures, lesquels seront délivrés gratuitement par elles à ceux que ce changement constituerait dans des dépenses trop fortes; enfin que, six mois seulement après cet envoi, les anciennes mesures seront abolies et seront remplacées par les nouvelles.

« L'Assemblée nationale décrète que l'Académie, après avoir consulté les officiers des monnaies, proposera son opinion sur la question de savoir s'il convient de fixer invariablement le titre des métaux monnayés, de manière que les espèces ne puissent jamais éprouver d'altération que dans le poids, et s'il n'est pas utile que la différence tolérée dans les monnaies, sous le nom de remède, soit toujours en dehors : c'est-à-dire qu'une pièce puisse bien excéder le poids prescrit par la loi, mais que jamais elle ne puisse lui être inférieure.

« Enfin que l'Académie lui indiquera l'échelle de division qu'elle croira la plus convenable, tant pour le poids que pour les autres mesures et pour les monnaies. »

Le décret du 8 mai 1790 de l'Assemblée nationale est à peine rendu, que les membres de l'Académie des sciences, chargés des études préparatoires, se mettent résolûment à l'œuvre, pour dis-

cuter les bases et les principes des résolutions à prendre et des opérations à poursuivre. Pour l'exécution d'un autre décret du 26 mars 1792, qui ordonnait la mesure d'un arc du méridien de Dunkerque à Barcelone, quatre cercles répétiteurs de Borda sont commandés à Lenoir. Le même artiste exécute les grandes règles de platine qui ont servi à la mesure des bases et coopère, avec Borda et Lavoisier, aux expériences sur la dilatation du cuivre et du platine (page 20, 1er vol.).

Il part de Paris, en juin 1792, avec Méchain, munis tous deux d'une proclamation du Roi qui recommandait leurs personnes et leurs signaux à l'assistance et à la protection des autorités du royaume. Mais cet acte d'un gouvernement que la tourmente révolutionnaire allait emporter leur fut plus nuisible qu'utile.

Méchain devait opérer de Barcelone à Rodez, sur une étendue évaluée alors à 170 000 toises; et Delambre, de Rodez à Dunkerque, sur 360 000 toises.

A la troisième poste hors de Paris, Méchain est arrêté par la garde nationale; mais, bientôt relâché, il arrive à Perpignan, où il allait commencer son opération, près de la frontière, avec le concours de deux officiers du génie espagnol, lorsque la présence de ceux-ci ne tarde pas à occasionner des soupçons qui l'obligent à passer en Espagne.

Il opère alors tranquillement en Catalogne, et y pousse sa triangulation jusqu'à Barcelone.

Delambre, moins heureux à son début, voit un premier signal établi à Montlhéry détruit par les habitants. — Non loin de là, à Montjal, la garde nationale s'oppose à l'érection d'un autre. A Dammartin, il ne peut se risquer, sans danger, à commencer ses observations.

Il se rend alors à Compiègne, et arrive le 12 juillet au moulin de Jonquières, emplacement d'un signal; mais, en présence des inquiétudes manifestées par les habitants, il juge nécessaire d'aller à Beauvais pour réclamer une autorisation du département de l'Oise. Muni de cette pièce, il revient à Jonquières, où il est bien reçu, mais où il ne retrouve plus les anciens signaux nécessaires pour relier les opérations.

Il part pour Dammartin, et charge Lalande d'allumer un signal à Montmartre; mais l'incendie des maisons voisines des Tuileries l'avertit que de graves événements se passent le 10

août dans la capitale, d'où Lalande ne peut sortir que le lendemain pour éclairer son réverbère; de son côté Delambre ne peut allumer les siens.

Il va à Meaux, où l'autorité n'ose pas lui permettre d'opérer. —A Montjal les habitants s'opposent à ses travaux.

A Belle-Assise il échappe à leur surveillance et, suivant son expression naïve, il a le bonheur d'achever la mesure de ses angles sans être aperçu. Mais, peu d'instants après, la garde nationale arrive pour visiter le château voisin, le reconnaît, l'arrête, l'enlève à travers champs par une pluie affreuse et l'amène, à minuit, à Lagny.

Plus intelligente, la municipalité, qui désire le sauver, le consigne prisonnier à l'auberge de l'Ours, sous la garde de deux factionnaires, et lui permet d'envoyer à Meaux un exprès chargé de réclamer sa liberté, qui lui est rendue.

Jamais découragé, il part pour Saint-Martin-du-Tertre; mais, arrêté à chaque pas et obligé de comparaître devant des municipalités toutes plus ignorantes les unes que les autres, il reconnaît qu'il lui est impossible d'aller plus loin, sans être muni d'un passe-port. Prévoyant, dit-il, que, s'il *allait lui-même à Paris pour le réclamer, ses amis lui diraient unanimement de remettre ses opérations à des temps plus tranquilles*, et ne voulant pas s'exposer à céder à leurs instances, il envoie Lefrançais le chercher.

Il veut partir de Saint-Denis; mais le procureur-syndic l'avertit qu'il n'ira pas à un quart de lieue sans être arrêté. Il l'est effectivement à Epinay, où l'on veut saisir ses instruments et où on l'oblige à les étaler sur la place et à en expliquer l'usage. Malgré ses explications, on le fait remonter en voiture et on le ramène à Saint-Denis. Le procureur-syndic, appelé, reconnaît le danger qu'il court et le fait cacher dans la mairie, avec recommandation de fuir s'il tarde à revenir. Mais ce procureur, plus intelligent, revient bientôt le chercher et les explications infructueuses recommencent par la lecture de ses lettres de recommandation. La foule n'y comprend rien; le tumulte augmente, la nuit arrive, et, pour clore la séance, on propose d'employer ce qu'il appelle *un de ces moyens expéditifs en usage dans ces temps et qui, tranchant les difficultés, mettaient fin à tous les doutes.*

Le procureur, voyant l'imminence du danger, eut alors l'heureuse idée de proposer de renvoyer la décision populaire au len-

demain, de mettre les scellés sur les caisses et sur les voitures, et d'écrire au président de l'Assemblée nationale.

Cet avis fut adopté et le sauva. — Un décret rendu d'urgence par l'Assemblée, sur la proposition de Lacépède, recommandant Méchain et Delambre à toutes les municipalités, gardes nationales et autres autorités, fut apporté le 9 septembre à Saint-Denis, où le malheureux astronome était caché depuis le 6.

Toujours disposé à envisager les choses du bon côté, Delambre, muni de ce décret, se croit à l'abri de nouvelles entraves et se félicite avec candeur de cette arrestation qui s'est terminée d'une manière si favorable, malgré la tournure assez critique qu'elle avait prise à certain moment.

Il n'y voit qu'un motif de plus de poursuivre sans relâche la mission qu'il a acceptée. Mais alors les éléments se liguent contre lui. L'automne, l'hiver arrivent, les brouillards ; la pluie, la neige envahissent l'horizon, et il arrive au 6 janvier 1793, n'ayant pu terminer ses opérations que dans huit stations.

Plus heureux, Méchain en deux mois en avait complété neuf, et était rentré en France en janvier 1793. Il s'occupait de se remettre en campagne vers le 2 avril pour prolonger sa méridienne jusqu'aux Baléares, lorsqu'une chute grave, qui le priva pendant un an de l'usage d'un bras, l'obligea à aller prendre les eaux de Caldas.

Les quatre mois qui suivirent ne furent pour Delambre qu'une série de difficultés et de contrariétés. Après plus de deux mois de sollicitations, il parvint à obtenir de la Commune de Paris un passe-port indispensable qui lui fut remis le 3 mai à midi. Le soir il était parti pour Dunkerque.

Mais le voisinage des armées belligérantes vint alors apporter de nouveaux obstacles à ses opérations qu'il commença le 18 mai, et qu'il continua cependant sans encombre, en se rapprochant de Paris. Le 16 octobre 1793, il était revenu à Jonquières, ayant relié tous ses triangles, malgré la difficulté de retrouver dans les clochers, la plupart démolis, les mêmes centres d'observation qui avaient servi en 1740.

Pendant qu'il poursuivait avec tant d'abnégation l'œuvre difficile qu'il avait entreprise, la Convention, jalouse de détruire toutes supériorités, avait supprimé toutes les académies et même l'Académie des sciences, malgré les efforts généreux du repré-

sentant Lakanal. Elle avait résolu de se passer du concours des savants.

Elle voulait bien toujours assurer l'établissement du système métrique; mais, habituée à tout faire d'urgence et s'ennuyant de la longueur de l'opération fondamentale, qui devait en fournir la base, elle avait décrété l'adoption d'un mètre provisoire et songeait à le rendre définitif.

Une mesure qui pouvait être plus sensible encore à un homme si dévoué à l'accomplissement de la mission dont il s'était chargé menaçait Delambre. Le Comité de salut public, dans son horreur sauvage pour toutes les sommités, même intellectuelles, venait de l'exclure avec Borda, Lavoisier, Laplace, Coulomb et Brisson de la Commission des poids et mesures [1].

Il y avait encore heureusement parmi les agents du Comité quelques hommes moins barbares, et celui qui fut délégué ensuite auprès de Delambre pour lui signifier cet arrêté lui en cacha le contenu, en ce qui le concernait personnellement, et lui laissa achever le travail des deux stations de Châtillon et de Pithiviers.

1. L'arrêté d'exclusion était ainsi conçu :

Extrait des registres du Comité de salut public de la Convention nationale.

Du troisième jour de nivôse (23 décembre 1793), l'an deuxième de la République française, une et indivisible.

Le Comité de salut public, considérant combien il importe à l'amélioration de l'esprit public que ceux qui sont chargés du gouvernement ne délèguent de fonction ni ne donnent de mission qu'à des hommes dignes de confiance par leurs vertus républicaines et leur haine pour les rois; après s'en être concerté avec les membres du Comité d'instruction publique, occupés spécialement de l'opération des poids et mesures, arrête que Borda, Lavoisier, Laplace, Coulomb, Brisson et Delambre cesseront, à compter de ce jour, d'être membres de la Commission des poids et mesures, et remettront de suite avec inventaire, aux membres restants, les instruments, calculs, notes, mémoires et généralement tout ce qui est entre leurs mains de relatif à l'opération des mesures. Arrête, en outre, que les membres restants à la Commission des poids et mesures feront connaître au plus tôt au Comité de salut public quels sont les *hommes dont elle a un besoin indispensable* pour la continuation de ces travaux, et qu'elle fera part en même temps de ses vues sur les *moyens de donner, le plus tôt possible, l'usage des nouvelles mesures à tous les citoyens, en profitant de l'impulsion révolutionnaire.*

Le Ministre de l'intérieur tiendra la main à l'exécution du présent arrêté.

Signé au registre : B. Barrère, Robespierre, Billaud-Varenne, Couthon, Collot-d'Herbois, etc.

Au sujet de cette même révocation, M. le général de Laplace, fils de l'illustre géomètre, rapporte l'anecdote suivante qu'il tenait de son père et qui montre à quel degré l'amour de la science et le sentiment du devoir animaient Delambre et lui faisaient oublier toute préoccupation personnelle.

« Après avoir rendu l'arrêté qui destituait Delambre, le Comité « de salut public enjoignit à Prony de partir immédiatement pour « le remplacer. L'on ne pouvait, sans danger pour sa liberté et « même pour sa vie, ne pas obéir. Prony arrive le soir à la sta- « tion où se trouve Delambre; celui-ci le reçoit en l'embrassant, « et ne lui laisse pas le temps d'expliquer le motif de sa visite, « qu'il attribue au désir de connaître les travaux auxquels la « Commission des poids et mesures, dont il était membre, prend « le plus vif intérêt. Il s'empresse de lui communiquer les ré- « sultats de ses grandes triangulations, de ses observations as- « tronomiques et géodésiques et de ses calculs, lui montre ses « instruments et les perfectionnements qu'il y a apportés, le « consulte sur les méthodes qu'il emploie, et lui exprime toute « sa confiance dans le succès qu'il entrevoit. Une partie de la « nuit s'écoule dans ces entretiens scientifiques et qui les atta- « chent au même degré l'un et l'autre. Prony ne peut se décider « à troubler le bonheur de son ami, ni à détruire ses espérances. « Le lendemain il le quitte, sans lui faire connaître l'ordre dont « il était porteur, et retourne à Paris, où il se tient caché.

« Bien d'autres soins préoccupaient la Convention, qui oublia « les deux savants[1]. »

Une lettre qui lui était personnellement adressée, en l'informant de l'arrêté du Comité de salut public, lui prescrivait de clore ses opérations, mais lui laissait encore quelque moyen de les terminer.

Il reprit courage, et toujours facile à contenter, pourvu que les intérêts de la science fussent sauvegardés, il se persuada, comme il le dit, que le but de l'arrêté lui paraissait être de profiter de l'impulsion révolutionnaire pour donner à tous les ci-

1. *Notice sur le système métrique décimal des poids et mesures*, par le général marquis de Laplace, rapporteur de la loi du 4 juillet 1837, à la Chambre des pairs.

toyens l'usage des nouvelles mesures, sans attendre la fin des travaux géodésiques, et l'idée lui paraissait bonne.

De retour à Paris, il est visité, ainsi que ses papiers et ses instruments, par des commissaires du Comité qui se montrèrent assez bienveillants, malgré leur profonde ignorance, mais qu'un brevet de membre de la Société royale de Londres, écrit en latin et orné des armes d'Angleterre, effarouchèrent un peu. Ils passèrent outre cependant, ce que Delambre regarda, dit-il, « comme une grande condescendance pour un homme qu'ils croyaient être en correspondance avec plusieurs rois. »

Pendant ce temps, Méchain, resté en Espagne, avait été, de la part du gouvernement de ce pays, l'objet de propositions flatteuses, que son patriotisme l'avait engagé à refuser, préoccupé qu'il était avant tout de l'accomplissement de sa mission.

La guerre venait d'être déclarée entre la France et l'Espagne, mais l'homme de science, également apprécié par le général espagnol et par l'administration de Perpignan, put, accompagné d'un officier du génie français et de deux officiers espagnols, faire quelques observations à Puy Camellas et à Puy de la Estella en France, et les terminer en septembre et octobre 1793.

Malgré l'assistance libérale des autorités supérieures, ces travaux n'étaient pas sans danger, car Tranchot, le collaborateur dévoué de Méchain, qui opérait à Estella, fut un jour enlevé par des miquelets, garrotté et emmené à la ville voisine, où il fut bientôt relâché.

Mais les opérations militaires ayant été commencées, le général espagnol, malgré sa bienveillance personnelle pour Méchain, ne crut pas pouvoir lui permettre de rentrer en France, de crainte qu'il ne fît profiter notre armée de la connaissance qu'il avait acquise du pays. Il l'autorisa seulement à se rendre à Barcelone, d'où il obtint plus tard d'aller en Italie.

En France, à la même époque, l'on ne se préoccupait plus de l'achèvement de la mesure de la méridienne. Borda avait été, comme Méchain, obligé de remettre tous ses papiers et ses calculs. La Commission temporaire ne s'attachait qu'aux détails administratifs d'organisation du service, et cessa bientôt de se réunir. Delambre était désespéré de voir abandonner une opération si avancée et à laquelle il s'était dévoué.

Heureusement Calon, esprit libéral et ami de la science, alors

directeur du dépôt de la guerre et qui désirait y rattacher des savants capables de faire progresser les études de géographie, y appela Delambre et Méchain en qualité d'astronomes du dépôt et les autorisa à reprendre les opérations aux Pyrénées et vers la Loire, en même temps qu'il leur assura les fonds et l'appui nécessaires.

Une loi du 18 germinal an III (7 avril 1795), rendue sur le rapport de Prieur, vint, peu de temps après, ranimer toutes les parties de l'entreprise, et fixa la nomenclature définitive du système métrique, qui est aujourd'hui en usage.

En exécution de l'article X de cette loi, une Commission de douze membres fut chargée de continuer les opérations relatives à la détermination de l'unité de mesures et de poids déduite de la figure de la terre. Elle était composée de Berthollet, chimiste, Borda, physicien et marin, Brisson, physicien, Coulomb, physicien, Delambre, astronome, Haüy, physicien, Lagrange, géomètre, Laplace, géomètre, Méchain, astronome, Monge, géomètre, Prony, ingénieur, Vandermonde, mécanicien.

L'on remarquera que, dans cette Commission, il n'y avait que deux astronomes, par la raison très-simple que les opérations géodésiques n'avaient pour but que de déterminer la longueur d'un arc qui devait servir de base au système de poids et de mesures et que toutes les autres études étaient essentiellement du domaine de la chimie pour le choix et la préparation de la matière, de la physique pour ses propriétés, de la géométrie pour les mesures, de la mécanique pour les instruments et les moyens d'exécution.

Borda et Brisson furent chargés de l'exécution d'un mètre[1]

1. Ce mètre est le premier étalon qui ait été fait. Il est déposé au Conservatoire des arts et métiers, et porte sur l'une des faces l'inscription suivante gravée :

« Étalon provisoire des mesures de la République, fait en exécution de la loi du 1er août 1793 (vieux style), adopté par les commissaires chargés de sa détermination, et remis par eux au Comité d'instruction publique le 18 messidor, troisième année (6 juillet 1795), » et sur l'autre :

Mètre.

« Mètre égal à la dix-millionième partie de la distance du pôle à l'équateur, vérifié d'après la toise de l'Académie, suivant le procès-verbal de ce jour.

« Paris, le 21 prairial an III de la République (9 juin 1795).

Signé : Borda, Brisson.

provisoire et firent, le 13 messidor an III (6 juillet 1795), un rapport dont nous extrayons les passages suivants :

Rapport sur la vérification du mètre qui doit servir d'étalon pour la fabrication des mesures provisoires, par Borda et Brisson, 18 messidor an III (6 juillet 1795).

« .... L'Assemblée conventionnelle, voulant, dès à présent, faire jouir la nation des avantages du nouveau système des poids et mesures, a pensé qu'en attendant la fin des opérations il convenait de faire un étalon provisoire, qui serait déterminé d'après l'ancienne mesure de la méridienne de France faite par l'Académie des sciences.

« .... La longueur de ce mètre, relativement à la toise, devant être fixée d'après l'ancienne mesure de la méridienne de France, on a pris les résultats donnés par Lacaille (1740) dans les volumes de l'Académie des sciences (année 1758). Ce savant a retrouvé, en comparant entre eux les différents arcs mesurés de la méridienne, que la longueur du 45° degré de latitude est égale à 57 027 toises, d'où il suit que le mètre doit être égal à 0 toise 513243, ce qui, réduit en subdivisions de la toise, donne 3 ^{pi}11^{lig},44.

« La toise dont il s'agit est celle qui est connue sous le nom de toise de l'Académie, et qui a servi pour la mesure des bases de l'arc terrestre au Pérou et pour celle des bases de la méridienne de France. Cette toise est de fer, et les deux bases ont été mesurées à 13° Réaumur.

« La Commission a pensé qu'il convenait de prendre pour point fixe la température de 10° centigrades.

« On a fait faire quatre mètres peu différents, et on les a comparés entre eux sur la grande règle, puis tous quatre ensemble avec deux toises, et l'on a choisi pour l'étalon provisoire le n° 2 contenant 3 ^{pi} 11^{lig},44. »

Signé : Borda, Brisson.

Paris, 18 messidor an III.

« Ce rapport ayant été présenté aux commissaires des poids et mesures, ils en ont adopté les résultats, et ils ont arrêté qu'il

serait signé et présenté par eux au Comité d'instruction publique. »

Paris, 18 messidor.

Signé : Lagrange, Laplace, Prony, Berthollet, Borda, Brisson.

Les opérations précédemment décrétées devant être continuées, Méchain et Delambre, astronomes, furent chargés des travaux géodésiques; le premier devait partir des Pyrénées, le second aller vers le Nord..

Delambre, Laplace et Prony s'occupèrent du choix et de la mesure d'une base près de Paris.

Borda, Haüy et Prony furent chargés de la détermination de l'étalon de poids.

Berthollet, Monge et Vandermonde dirigèrent le travail du platine destiné à former, non-seulement l'étalon du mètre de la République, mais encore d'autres étalons d'une similitude parfaite que l'on pourrait envoyer soit aux Compagnies savantes, soit aux divers gouvernements du monde policé.

Ainsi, dès cette époque, la Commission des savants français, chargée de l'établissement du système métrique, se préoccupait du soin de fournir au monde savant et civilisé des étalons de poids et de mesures de la même matière, parfaitement comparables et en platine.

Méchain, parti pour les Pyrénées, y éprouva, pour l'établissement de ses signaux et pour l'éclairage de ses réverbères, les mêmes difficultés que Delambre avait rencontrées aux environs de Paris en 1792 et 1793.

Delambre, de son côté, en éprouve aussi pour assurer la fixité de ses signaux, et, d'une autre part, l'avilissement des assignats annule ses ressources. Pour un trajet de 20 kil. il était obligé de payer 1500 fr. de frais de poste. Il est obligé de s'arrêter à Bourges, n'ayant plus le moyen de payer ses frais de transport. Outre les mêmes embarras financiers, Méchain rencontrait des difficultés de tous genres pour ses opérations dans les Pyrénées. De Lalande, dans son *Histoire abrégée de l'astronomie*, fait connaître les détails suivants qui nous montrent l'astronome aussi intrépide qu'il était dévoué[1].

1. *Histoire abrégée de l'Astronomie*, page 756.

« Le citoyen Méchain, dit-il, après avoir été pour ainsi dire prisonnier en Espagne et en Italie, revint enfin du côté de Perpignan pour continuer les triangles qu'il avait faits depuis Barcelone; mais les difficultés le désolaient. Il nous écrivait du pic de Bugarach, où l'on ne gravit qu'au risque de sa vie, il avait porté une tente pour y coucher, mais le pic a tout au plus l'étendue nécessaire pour les étais du signal; il n'y a rien au-dessous que des précipices. La pente en est si roide, qu'il faut ramper et s'accrocher aux buissons et aux cailloux qui s'éboulent sous les pieds; le vent y est si dangereux, qu'on n'a pu trouver personne qui voulût y passer la nuit ni même y rester seul pendant le jour. Les hommes qui ont eu le courage d'y porter les instruments ont déclaré qu'aucun intêret ni aucune autorité ne pourraient les déterminer à le faire une seconde fois. Cependant il n'y a pas d'autre endroit où l'on puisse voir un signal qui corresponde à quatre triangles principaux et d'où l'on puisse viser six signaux différents. Méchain était donc obligé d'y gravir tous les jours, et souvent les neiges ou les brumes qui enveloppent les montagnes rendaient ses peines inutiles. Quand on a élevé des signaux à grands frais et avec des peines incroyables sur ces montagnes, les ouragans les renversent, les malveillants les détruisent pour en voler les clous, et il faut retourner à plusieurs lieues de distance pour rétablir un signal. On n'était pas surpris d'apprendre qu'il n'y eût encore que quatre triangles formés ou terminés dans cette partie de la méridienne. »

Pour braver, avec le calme nécessaire, des dangers semblables à ceux que signale de Lalande, il ne suffit pas d'être dévoué à la science et à ses devoirs, il faut avoir sur ses sens un empire qui vous préserve de cette espèce de vertige, à l'abri duquel ne sont pas toujours les soldats les plus intrépides. Tel qui, sans broncher, a cent fois affronté les boulets, est au contraire surpris par une faiblesse insurmontable en présence du vide que lui offre l'espace. Nous en pourrions citer des exemples.

La science a donc aussi ses héros qui, plus heureux que ceux de la guerre, ne laissent après eux que des œuvres utiles à l'humanité et non des ruines et des haines vengeresses.

Malgré tous ces obstacles, Méchain, outre quatre triangles principaux, mesura, dans cette campagne de 1795, la base de

Perpignan à Narbonne sur une longueur de 6000 toises, ancienne mesure.

Delambre, marchant à la rencontre de son collègue, trouvait les anciens signaux disparus, et éprouvait des difficultés à en établir de nouveaux, car un zélé représentant du peuple s'était vanté d'avoir « fait tomber tous ces clochers qui s'élevaient orgueilleusement au-dessus de l'humble chaumière des sans-culottes. »

En forme d'observation morale, Delambre ajoute : « Cependant j'ai vu partout que ces humbles sans-culottes regrettaient beaucoup leurs clochers. » Mais plus loin il dit : « J'invitai donc les habitants de Morlac à rétablir celui qu'ils avaient vu tomber avec tant de chagrin; j'offris de payer les frais par moitié.... Mais ils aimaient encore mieux leur argent. »

Dans plus d'une commune, les signaux recouverts de toile blanche, qu'on prenait pour un drapeau, furent menacés; car outre la signification politique qu'on leur attribuait, on les regardait parfois comme la cause d'orages violents qui causaient des dévastations.

A toutes ces entraves apportées à l'entreprise par l'ignorance et la malveillance, se joignaient parfois les misères et les souffrances physiques. Le passage suivant d'une lettre écrite par Delambre à Lalande du Puy-Nolan, dans le Cantal, en donnera une idée[1] :

« J'avais pour six heures d'ouvrage, et je n'ai pu le faire qu'en dix jours. Dès le matin, je montais au signal pour n'en descendre qu'au coucher du soleil; l'auberge la plus voisine était celle de Salers; le chemin était de trois heures pour aller, autant pour revenir, et la route était la plus horrible que j'aie rencontrée jusqu'ici.

« J'ai pris le parti de me loger dans une vacherie voisine; je dis voisine, parce qu'il n'y avait que pour une heure de chemin, tant le matin que le soir. Pendant les dix jours qu'a duré ce travail, je n'ai pu me déshabiller; je couchais sur quelques bottes de foin; je vivais de lait et de fromage. Presque jamais je ne pouvais apercevoir deux objets à la fois : un brouillard épais couvrait l'horizon. Pendant l'observation, comme pendant les

1. *Histoire abrégée de l'Astronomie*, page 780.

longs intervalles qu'elle me laissait, j'ai été successivement brûlé par le soleil, refroidi par le vent et trempé par la pluie. Je passais ainsi dix à douze heures de la journée, exposé à toutes les intempéries de l'atmosphère; mais rien ne me contrariait tant que l'inaction. »

Malgré toutes ces difficultés, la persévérance de Delambre l'avait amené, le 4 frimaire an V (24 novembre 1796), à Evaux, point de jonction de ses opérations avec celles de Méchain, dont il rencontra le collaborateur Trauchot près de Rodez.

Quant à Méchain lui-même, très-contrarié par le mauvais temps, il était tombé malade et ses forces ne répondaient plus à son dévouement. Une lettre de lui, en date du 20 brumaire (10 décembre 1797), contient à la fois l'expression de ses regrets et celle de sa résolution invariable de ne pas abandonner sa mission [1].

Après tant d'obstacles surmontés, de dangers affrontés et de difficultés vaincues, les deux astronomes se retrouvèrent à Paris et commencèrent à rendre compte à leurs collègues français et aux savants étrangers, qui avaient répondu à l'appel du gouvernement, de l'ensemble de leurs travaux. L'on en trouve tous les détails dans le beau travail publié sous le nom de Méchain et Delambre avec le titre de *Bases du système métrique* [2].

A ces détails qui mettent dans tout son jour le dévouement

1. Lettre de Méchain à Delambre, 20 brumaire an IV (10 novembre 1797) :
« ..... Une indisposition assez grave est venue prolonger des retards bien in-
« volontaires. J'ai été arrêté deux mois entiers dans la montagne Noire, sans
« pouvoir y trouver deux heures de suite où je pusse observer. Je n'ai pu ter-
« miner la station de Nore qu'à force de constance et avec des peines infinies.
« Je suis au comble de la douleur en voyant l'impossibilité d'aller plus avant.
« Je ne redoute ni les fatigues ni le froid ; mais ce serait sans succès que je ten-
« terais de les braver...
« Dans cette cruelle conjoncture, je prends le parti de rester encore dans cet
« affreux exil, loin de ce que j'ai de plus cher au monde ; je sacrifie tout, je re-
« nonce à tout, plutôt que de rentrer sans avoir terminé ma portion de travail,
« que vous aviez voulu même diminuer. J'attendrai donc le retour du beau
« temps. J'emploierai l'intervalle à terminer la rédaction, et, dès les premiers
« jours, je reprendrai la mesure des angles. Je ferai les plus grands efforts pour
« qu'elle soit terminée avant la fin de floréal, assez à temps pour prendre part à
« la mesure des bases..... *Mais, pour rien au monde, je ne rentrerai avant d'a-*
« *voir entièrement rempli ma tâche.* »

2. *Bases du système métrique*, troisième volume, page 585.

absolu à la science et au devoir des deux astronomes pour les travaux desquels quelques savants n'ont pas craint de se montrer si sévères, il ne sera pas sans doute hors de propos d'ajouter la liste des étrangers qui, sur l'invitation du gouvernement français, vinrent se joindre à nos compatriotes.

Cette délégation était composée de la manière suivante :

République batave.	Aenea, technologiste. Van Swinden, astronome et physicien.
Sardaigne.	Balbo. Plus tard Vassali, physicien.
Danemark.	Bugge, astronome.
Espagne.	Cescar et Pedrayès.
Toscane.	Fabroni.
République romaine.	Franchini.
République cisalpine.	Mascheroni, géomètre.
République ligurienne.	Multedo.
République helvétique.	Trallès.

Il est triste de dire que l'illustre Lavoisier, qui avait coopéré si activement aux premières expériences pour la détermination de l'unité de poids, et dont le crédit personnel avait si puissamment et si libéralement aidé Méchain en Espagne, ne figure plus sur cette liste et n'est même nommé qu'incidemment dans les documents publiés. Il avait, on le sait, péri sur l'échafaud le 8 mai 1794; une partie de ses juges et de leurs amis politiques vivaient et étaient encore puissants en 1806.

Loin de suffire pour expliquer une si ingrate omission, cette circonstance fatale aurait dû être une raison de plus pour publier hautement la part considérable qui revenait à l'illustre victime. On doit regretter que quelques-uns des rapporteurs de ces grands travaux se soient dispensés de ce devoir.

De Lalande, esprit généreux et ferme, qui ne pardonnait pas au régime de la Terreur la perte de Lavoisier et de tant d'autres amis de la science, a réparé cette omission dans une notice qu'il a publiée en 1795, et dont nous extrayons le passage suivant :

« Le grand et important travail des nouvelles mesures à établir dans toute la république occupa l'académie dès 1790[1],

1. *Notice sur Lavoisier*, par De Lalande, page 185, recueil de Millin, Noël et Warrin.

mais personne n'y a pris plus de peine et n'y a été plus utile que Lavoisier.

« La dilatation des métaux par la chaleur était une chose importante et qui n'était pas assez connue. Il fit construire, dans le jardin de son hôtel, un appareil où des règles de métal plongées dans l'eau et soumises à divers degrés de chaleur faisaient mouvoir une lunette qui marquait sur un objet éloigné les moindres degrés de dilatation, et lorsqu'en 1793 il fut question de mesurer une base pour la nouvelle méridienne avec une précision inconnue jusqu'ici, il plaça dans son jardin des règles de platine et de cuivre, qui formèrent des thermomètres métalliques avec lesquels on eut immédiatement l'effet de chaque degré de chaleur, sans le secours d'un thermomètre séparé. Il en a déterminé les rapports « et on va les employer pour la mesure de la base entre Lieursaint et Melun, qui donnera la longueur de la méridienne entre Dunkerque et Barcelone, la grandeur de la terre et le fondement des mesures républicaines[1]. »

Dans son *Histoire abrégée de l'Astronomie*[2], Lalande, au sujet des travaux exécutés en 1793, dit : « Lavoisier et Borda préparèrent et mirent en expérience à Paris quatre règles de douze pieds en cuivre et en platine, destinées à mesurer la base (des triangulations) : ils en déterminèrent les dilatations à tous les degrés de chaleur, et tout était prêt pour exécuter ce travail. »

Il résulte évidemment du passage cité de la notice de Lalande publiée en 1795, mais qui avait été certainement écrite très-peu de temps après la mort de Lavoisier, comme on en peut juger par le sentiment d'indignation dont elle est empreinte, que Lavoisier avait pris, dès 1790, une part considérable à la confection et à l'étude des thermomètres métalliques qui ont servi pour la mesure des bases. Cette opinion concorde avec ce que dit Delambre, page 20 de son discours préliminaire, au sujet du concours que l'artiste Lenoir prêta à Borda et à Lavoisier pour ces

1. Même recueil, page 166. Lalande ajoute que, aussi bon administrateur que savant dévoué et généreux, Lavoisier, devenu trésorier de l'Académie, avait su faire tourner au profit des sciences des fonds morts que l'Académie avait sans le savoir. Il est fâcheux qu'il n'ait pas eu de successeurs.

2. *Histoire abrégée de l'Astronomie*, page 726, année 1793.

mêmes expériences, exécutées, dit-il, dans le jardin de la maison de Lavoisier, au boulevard de la Madeleine [1].

Si, dans le rapport sur ces règles présenté par Borda et plusieurs *autres membres* de la Commission, Borda, qui en était l'auteur, ne nomme pas son confrère, il ne faut pas oublier que lui-même, déjà très-malade, n'avait échappé que par hasard à la proscription et que le rapport sur des expériences faites du 24 mai au 5 juin 1792 était présenté très-peu de temps après la mort de Lavoisier. Mais la description qu'il a donnée de l'installation des expériences concorde parfaitement avec ce qu'a dit de Lalande.

Enfin Wan Swinden dit : « Nous avons employé la même auge dont Borda et Lavoisier se sont servis. »

C'est donc à tort que ces règles ne sont connues dans le monde savant que sous le nom de thermomètres de Borda, tandis qu'elles devraient porter au moins également celui de l'infortuné physicien. Lefèvre-Gineau, qui connaissait les faits ainsi que la notice de Lalande et qui avait participé aux expériences rapportées par Wan Swinden, dont on vient de parler, s'est donc montré partial et injuste en attribuant, en 1799, à Borda seul le mérite de l'invention de ces règles.

Mais il y a plus, Lavoisier et Haüy [2] avaient été, à l'origine, spécialement chargés de déterminer d'abord le poids d'un volume donné d'eau distillée prise au terme de la glace et pesée dans le vide, d'où l'on déduisit plus tard le kilogramme provisoire, d'après le marc moyen de la pile de Charlemagne.

A ce sujet, Lalande dans son *Histoire abrégée de l'Astronomie* dit [3] :

« Le mètre que l'on devait déduire des nouvelles mesures devant servir pour cuber une partie d'eau distillée pour fournir la livre, Lavoisier fit faire des machines de la plus grande exactitude pour connaître le poids de l'eau sous un volume déterminé. »

Or Wan Swinden dit, dans son rapport, que le poids de ce ki-

1. *Bases du système métrique*, troisième volume, page 435.

2. *Mémoires de l'Académie des sciences*, 1788. Rapport fait à l'Académie par MM. Borda, Lagrange, Laplace, Monge et Condorcet, le 19 mars 1791.

3. *Histoire abrégée de l'Astronomie*, page 717.

logramme, qui était en laiton, comme le mètre provisoire, et qui était destiné aux pesées dans l'air, avait été fixé, d'après les expériences de ces physiciens, à 18841 grains, et Lefèvre-Gineau a trouvé que l'unité de poids, rapportée à la pile de Charlemagne pesée dans l'air, est égale au poids de 18 842 grains ; ce n'est qu'en rapportant ce poids au vide qu'il l'a réduit à 18 827 grains [1].

Trallès dans son rapport [2], en date du 11 prairial an VII (30 mai 1796), dit :

« Pour le pied cubique d'eau à la plus grande densité, on trouve le poids de 645 343 grains ou 70 liv. 223 grains poids de marc, et pour l'eau à 0°3 de température, le pied cubique pèse 645 261 grains ou 70 liv. 141 grains, poids qui doit encore être diminué d'environ 13 grains, si on voulait que l'eau fût à la température de la glace fondante : les citoyens Lavoisier et Haüy, qui se sont occupés à déterminer ce poids provisoire, ont trouvé le poids du pied cubique d'eau à la température de la glace 70 liv. 60 grains. »

Ce passage montre bien que Lavoisier avait fait avant Lefèvre-Gineau les expériences nécessaires à la détermination du poids d'un volume donné d'eau à la température de la glace fondante.

La publication du 5e volume des œuvres de Lavoisier, que M. Dumas prépare avec un soin pieux, montrera d'ailleurs que, dès les premiers jours de janvier 1793, il avait commencé des expériences, continuées après lui, avec le cylindre en cuivre décrit par Trallès dans son rapport, et que son collègue Haüy en avait mesuré les dimensions avec la machine de Fortin, qui, ainsi que le cylindre, existe encore à l'Observatoire. Il avait opéré à la température de la glace fondante, comme l'indiquent dans ses notes manuscrites les précautions qu'il était obligé de prendre pour enlever de ce cylindre les petits cristaux qui s'attachaient à sa surface.

Les chiffres et les détails précédents prouvent, d'une manière qui me semble incontestable, que le travail de Lefèvre-Gineau, sur la détermination du poids d'un volume donné d'eau distillée au

1. Troisième volume, page 638.
2. *Bases du système métrique*, troisième volume, page 570.

terme de la glace, s'est borné à compléter et à vérifier les résultats déjà obtenus par Lavoisier, à qui revient l'honneur de les avoir trouvés le premier. Il y a donc eu une injustice, que la postérité doit réparer, à laisser à Lefèvre-Gineau et à Trallès seuls l'honneur de ce travail si important et si délicat, de même qu'on a attribué à Borda tout le mérite de la construction et de l'étude des thermomètres ou règles bi-métalliques.

Le 5e volume des œuvres de Lavoisier sera d'autant plus intéressant à consulter, que l'on y trouvera les résultats des expériences et des calculs qu'il a faits, tandis que Lefèvre-Gineau n'a jamais pu fournir les éléments de son propre travail, quelque insistance qu'on ait mise à les réclamer de lui, ainsi que me l'affirmait encore récemment notre respectable confrère, M. Mathieu.

Véritables caractères du système métrique décimal. — Sans entrer dans une discussion qui ne serait pas à sa place dans une simple notice historique, il n'est peut-être pas inutile de dire que les membres de l'Académie des sciences qui se décidèrent à prendre pour unité des mesures de longueur et pour base du nouveau système métrique une partie déterminée d'un arc du méridien, n'ont jamais attaché à la définition que l'on en a donnée le sens absolu qu'elle paraît exprimer.

Delambre, dans son discours préliminaire, présenté à l'Académie des sciences, sur les bases du système métrique décimal [1], s'exprime à diverses reprises de la manière la plus formelle :

« Après les travaux de Thury, de Cassini et de Lacaille en 1739, dit-il, il ne resta plus de doute sur l'allongement des degrés en allant de l'équateur au pôle. Depuis ce temps plusieurs degrés ont été mesurés en divers pays. Lacaille au cap de Bonne-Espérance, Boscowith dans les États du Pape, Beccaria dans le Piémont, Liesganig en Autriche et en Hongrie, Mason et Dixon en Pensylvanie, etc.

« Loin de fixer l'incertitude qui restait sur la quantité de l'aplatissement, la comparaison de tous ces degrés était plus propre à faire douter de la similitude des méridiens ou de la régularité de leur courbure [2].

1. *Mémoires de l'Académie des sciences pour* 1788.
2. 1er volume, pages 9 et 10.

« On finira peut-être, ajoute Delambre, par reconnaître que les parallèles ne s'éloignent pas moins que les méridiens de la figure circulaire, et que la terre n'est pas exactement un solide de révolution[1]. »

Dès l'origine de ses travaux, la Commission de l'Académie, composée de Borda, Lagrange, Laplace, Monge et Condorcet, dans un rapport en date du 19 mars 1791, s'exprimait déjà de la manière suivante [2] :

« La régularité de l'équateur n'est pas plus assurée que la similitude ou la régularité du méridien : la grandeur de l'arc céleste, répondant à l'espace qu'on aurait mesuré, est moins susceptible d'être déterminée avec précision; enfin on peut dire que chaque peuple appartient à un méridien, mais qu'une partie seulement est placée sur l'équateur... »

Plus loin, on lit[3] : « Nous n'avons pas cru qu'il fût nécessaire

1. Depuis l'époque où Delambre s'exprimait ainsi, les mesures de Lacaille ont été répétées et corrigées par MM. Henderson et Maclear ; un arc de 21°,33 a été mesuré dans l'Inde ; un autre de 25°,33 l'a été en Russie ; un autre de 10°,25 en Angleterre, etc.

Un général russe, savant géomètre, a cherché à comparer entre eux huit arcs différents, mesurés à diverses longitudes, en les faisant entrer deux à deux dans vingt-huit combinaisons. De cette discussion laborieuse, et à l'aide d'hypothèses plus ou moins plausibles, il a cru pouvoir conclure que la terre est un ellipsoïde à trois axes inégaux, et que le mètre, déduit de la méridienne de France, serait trop court de la deux-centième partie d'un pouce anglais, ou de $\frac{25^{mm}}{200} = 0^{milli},0152$.

L'on reconnaîtra volontiers avec nous que ce n'était pas la peine de se livrer à de si laborieux calculs et de faire des hypothèses peu fondées sur la préférence à accorder aux travaux de tels ou tels observateurs pour arriver à une conclusion aussi peu importante. Aussi pensons-nous qu'il y a lieu de dire, avec le savant M. Barnard (a), que c'est le cas d'appliquer la spirituelle remarque du professeur Huxley sur le pouvoir de l'analyse mathématique qui, selon lui, peut être comparée à un moulin d'une construction parfaite, qui moud votre farine à tel degré de finesse que vous désirez, mais qui ne vous donne cependant, en définitive, que ce que vous y avez mis.

Tant valent les bases de la discussion ou les hypothèses qui lui servent de point de départ, tant valent les conclusions.

2. *Mémoires de l'Académie des sciences pour* 1788, page 15.

3. *Ibid.*

(a) *The Metric Système des poids et mesures*, par M. Barnard, président du collége de Colombie de la ville de New-York, 1872.

d'attendre le concours des autres nations, ni pour se décider sur le choix de l'unité de mesure, ni pour commencer les opérations. En effet, nous avons exclu de ce choix toute détermination arbitraire, nous n'avons admis que des éléments qui appartiennent également à toutes les nations; le choix du quarante-cinquième parallèle n'est point déterminé par la position de la France; il n'est pas considéré comme un point fixe du méridien, mais seulement comme celui auquel correspondent la longueur moyenne du pendule et la grandeur moyenne d'une division quelconque de ce cercle. Enfin nous avons choisi le seul méridien où l'on puisse trouver un arc aboutissant au niveau de la mer, coupé par le parallèle moyen, sans être cependant d'une trop grande étendue, qui en rende la mesure actuelle trop difficile. Il ne se présente donc rien qui puisse donner le plus léger prétexte au reproche d'avoir voulu affecter une sorte de prééminence.

« En un mot, si la mémoire de ces travaux venait à s'effacer, si les résultats seuls étaient conservés, ils n'offriraient rien qui pût servir à faire connaître quelle nation en a conçu l'idée, en a suivi l'exécution.

« Nous concluons en conséquence à présenter ce rapport à l'Assemblée nationale, en la priant de vouloir bien décréter les opérations proposées et les mesures nécessaires pour l'exécution de celles qui doivent s'étendre sur le territoire de l'Espagne[1]. »

Les opérations géodésiques de Delambre et de Méchain ont confirmé d'une manière remarquable la sagesse de la réserve avec laquelle s'exprimaient à l'avance les membres de la Commission de l'Académie. On lit en effet ce qui suit dans le rapport lu à l'Institut par Van Swinden, le 29 prairial an VII (19 juin 1798) :

« Nous fixerons principalement nos regards sur deux conclusions des opérations de Méchain et Delambre.

« La première, que les degrés moyens qu'on conclut pour les quatre intervalles, dont nous venons de faire mention, décroissent tous à mesure qu'on s'approche de l'équateur, et qu'ainsi cette opération pourrait elle seule prouver l'aplatis-

1. *Bases du système métrique*, troisième volume, page 617.

sement de la terre, s'il était encore besoin de preuves sur cet article.

« La seconde, qu'on était bien loin de soupçonner, et qui présente un phénomène très-remarquable, digne des recherches des plus profonds mathématiciens, c'est que ces mêmes degrés ne suivent pas dans leur diminution une marche graduelle, mais qu'ils décroissent d'abord très-peu et très-lentement entre Paris et Evaux, seulement de deux modules (8^{m}) pour un degré de latitude, ensuite très-rapidement et très-fortement, de seize modules par degré de latitude, entre Evaux et Carcassonne; et que cette diminution rapide se ralentit entre cette ville et Montjouy, n'étant plus que de sept modules.

« Nous ajouterions à cet exposé succinct que ce fait si remarquable est intimement lié à un autre, à celui que présentent, tant les différences qu'il y a entre les azimuts calculés pour Bourges, pour Carcassonne, pour Montjouy, d'après celui de Dunkerque pris pour base, et les azimuts observés dans ces trois stations, que la marche de ces mêmes différences; de sorte que ces deux faits se servent mutuellement de confirmation et d'appui, et que, réunis, ils indiquent soit une irrégularité dans les méridiens terrestres, soit une ellipticité dans l'équateur et ses parallèles, soit une irrégularité dans l'intérieur de la terre, soit un effet de l'attraction des montagnes, soit une action puissante de ces différentes causes réunies ou de quelques-unes d'entre elles : action qui n'avait pas été démontrée d'une manière aussi frappante qu'elle l'est par les résultats que nous venons d'indiquer. Ce sera aux mathématiciens les plus célèbres à fixer leur attention sur ces faits, pour tâcher d'en démêler les éléments, et de parvenir sur la figure de la terre à une théorie plus parfaite que celle que nous possédons jusqu'ici[1]. »

A ces réflexions, il nous sera peut-être permis d'ajouter qu'à l'époque où les rapporteurs des diverses Commissions s'exprimaient avec une telle réserve, les beaux travaux de M. Élie de Beaumont sur le soulèvement graduel et continu de la croûte terrestre, qui ne datent que de peu d'années, n'exis-

1. Voir aussi le rapport de Delambre *Sur la mesure de la méridienne*, troisième volume, page 430.

taient pas, et qu'ils peuvent aussi servir à expliquer, non-seulement les différences alors constatées, mais peut-être même d'autres modifications qui se seraient produites depuis trois quarts de siècle dans les distances des points observés, ou permettre au moins d'en prévoir d'autres pour un avenir plus ou moins éloigné.

La loi du 18 germinal an III (7 avril 1795) avait fixé, par son article 2, la matière dont le mètre étalon devait être fait. Elle disait :

« Ce sera une règle en platine sur laquelle sera tracé le mètre : cet étalon sera exécuté avec la plus grande précision, d'après les expériences et les observations des commissaires chargés de sa détermination, et il sera déposé près du Corps législatif, ainsi que le procès-verbal des opérations qui auront servi à le déterminer. »

L'on voit par le texte de cet article, qu'à l'origine de ses travaux, la Commission de l'Académie des sciences avait pensé que le mètre étalon prototype devait être une mesure à traits, c'est-à-dire portant près de ses extrémités deux traits entre lesquels la longueur fixée devait être comprise.

L'on ne trouve, dans aucune des publications ou aucun des rapports officiels faits à ce sujet, l'indication des motifs qui ont plus tard conduit cette Commission à donner à l'étalon prototype la forme d'un mètre à bouts ou ayant la longueur voulue entre ses deux extrémités.

Les opinions des savants sont encore fort partagées à ce sujet, et, selon les points de vue particuliers auxquels ils se placent ou la nature de leurs travaux, les uns, comme une partie des géodésistes, préfèrent le mètre à traits, les autres, ainsi que tous les ingénieurs et commerçants, le mètre à bouts.

Aussi la Commission internationale du mètre, désireuse de satisfaire à tous les besoins, a-t-elle décidé qu'elle ferait faire des mètres des deux types, selon les demandes.

Dans un rapport émané d'une Commission de l'Académie des sciences, en 1869, l'on a, croyons-nous, exagéré les difficultés et les inconvénients de la comparaison d'un mètre étalon à bouts avec un mètre à traits, ainsi que les chances d'altération qui pourraient en résulter pour le premier. Mais déjà, à cette

époque, l'on avait employé au Conservatoire, pour les comparaisons, un moyen simple, complétement exempt d'inconvénients, et qui permettait d'obtenir pour les résultats un degré d'exactitude en rapport avec celle des autres instruments alors en usage.

Un peu plus tard, dès les premières réunions de la section française de la Commission internationale, M. Fizeau proposa le procédé optique, qui a été adopté par cette Commission, et qui joint à l'avantage de donner des résultats de la plus grande précision celui d'éviter tout contact susceptible de produire la moindre altération dans les extrémités d'un mètre à bouts.

Présentation des étalons à l'Académie des sciences. — Avant la remise des étalons prototypes des poids et mesures au Corps législatif, la Commission chargée de leur exécution les présenta à l'Académie des sciences, qui avait pris un si grand intérêt à ses travaux. Nous extrayons les passages suivants d'un rapport fait à ce sujet par Van Swinden, le 29 prairial an VII (17 juin 1798).

« Nous présentons à l'Institut, au nom de la classe des sciences mathématiques et physiques, le mètre en platine destiné à être offert au Corps législatif et à y rester en dépôt. Il a été fait, comme tous les autres, par l'excellent artiste Lenoir, sous la direction des membres de la Commission, qui ont été nommés pour suivre cet objet; et il a été vérifié avec le plus grand soin et avec des précautions qui seront constatées par un procès-verbal.

« Cet étalon sera sans doute conservé avec le même soin, je dirais volontiers avec ce même respect religieux avec lequel on a conservé la *pile de Charlemagne*, pendant cinq siècles, au bout desquels ce précieux monument se trouve ne pas avoir subi de changement[1]. Mais, par sa nature même, cet étalon de platine ne doit servir que dans les cas extrêmement rares où il s'agirait de faire des vérifications très-importantes; il ne saurait servir aux étalonnages ordinaires et ne doit absolument pas y être employé. Aussi la Commission a-t-elle fait faire, avec le même soin et avec les mêmes précautions, des mètres de fer exactement égaux entre eux, et, à la température de la glace fondante, à celui de platine dont nous venons de parler.

1. Cette pile de Charlemagne est déposée au Conservatoire des Arts et Métiers.

« Nous en présentons quelques-uns à l'Institut : ils devront servir à étalonner les mètres destinés aux usages de la Société, et ils portent aux deux extrémités des saillies en laiton pour les préserver de toute usure.

« Mais puisqu'aucun métal ne conserve constamment la même longueur, et que divers métaux éprouvent des changements différents par les mêmes variations de température, il conviendrait de faire ces étalonnages au dixième ou au quinzième degré du thermomètre centigrade, puisqu'alors une variation de dix degrés dans la température, variation qui produit ou le froid à peu près glacial ou un assez grand degré de chaleur, ne ferait différer entre eux des mètres faits de différents métaux que de 3/100 de millimètre, s'ils sont, l'un de fer et l'autre de platine, et de 6/100 de millimètre, s'ils sont de laiton et de fer : à quoi nous croyons devoir ajouter que le mètre provisoire, qui a été fait en laiton, a été déterminé pour la température de 10° du thermomètre centigrade.

« Nous présentons aussi les étalons des poids : d'abord un kilogramme de platine destiné pour le Corps législatif et pour y être conservé avec les attentions les plus scrupuleuses, sans qu'on en fasse jamais usage que pour les cas rares d'une grande importance; ensuite, plusieurs kilogrammes de laiton faits avec la même exactitude, égaux entre eux, et qui sont destinés aux usages civils et aux étalonnages ordinaires.

« Tous ces kilogrammes ont été faits par le citoyen Fortin.

« Quoique ces deux kilogrammes, celui de platine et celui de laiton, soient l'un et l'autre des kilogrammes vrais, ils n'ont pas le même poids, étant pesés à l'air, et ne doivent pas l'avoir ; le kilogramme de laiton est le seul qu'il faille employer pour les pesées dans l'air. C'est un paradoxe que nous devons nécessairement vous expliquer ; il tient uniquement à la différence des métaux, et l'explication sera aussi courte que simple.

« Qu'est-ce qu'une masse de métal qu'on nomme kilogramme? C'est le représentatif d'une masse d'eau prise à son *maximum* de condensation, contenue dans le cube du décimètre, et pesée dans le vide. Nos deux kilogrammes de platine et de laiton, ces deux représentatifs d'une même masse d'eau, doivent donc avoir le même poids dans le vide; mais, par là même, ils ne peuvent être égaux dans l'air. Figurons-nous, en effet, qu'ils

soient suspendus dans un récipient, mais dans l'air, à la balance la plus exacte et la plus mobile, et qu'ils soient dans un équilibre parfait, nous aurons, d'un côté, un volume, celui de laiton, d'un peu plus de six pouces cubiques, et de l'autre, un volume, celui de platine, de deux pouces 4/10 seulement; c'est l'image d'une expérience de physique que tout le monde connaît.

« Supposons qu'on fasse le vide dans ce récipient, c'est-à-dire qu'on en fasse sortir l'air qui soutenait les corps à raison de leur volume; qu'arrivera-t-il?

« Le kilogramme de laiton, perdant deux fois et demie plus de support que celui de platine, prévaudra; il se trouvera avoir plus de poids, et cet excès sera le poids de trois pouces et 6/10 d'air, qui formaient l'excès du support pour le laiton au-dessus de celui pour le platine, et conséquemment il sera de 1^{g} 2/3 plus lourd. Au contraire, si le kilogramme de platine avait été à l'air plus pesant de 1^{gr} 2/3 ou de 88 milligrammes et 4/10, le kilogramme de laiton devenant dans le vide plus pesant que cette quantité, l'équilibre aurait été rétabli et les deux masses auraient dans le vide le même poids, celui de la masse d'eau dont ils sont les représentatifs et qui, comme nous l'avons dit ci-dessus, est exprimé dans le vide comme dans l'air par le contre-poids de laiton qu'on a employé dans le cours des expériences. Nous avons cru devoir faire cette observation, simple à la vérité, mais d'un genre assez délicat pour expliquer par quelles raisons deux corps de différentes densités, représentatifs l'un et l'autre d'une même masse d'eau ou du *kilogramme vrai*, doivent nécessairement être inégaux en poids quand on les pèse à l'air, et pourquoi, puisque c'est dans ce fluide que nous faisons toutes nos pesées, la masse de laiton est la seule qu'on doit employer pour les étalonnages et pour représenter le *kilogramme primitif*[1]. »

Le 4 messidor an VII (22 juin 1799), les étalons prototypes furent présentés au Corps législatif au nom de l'Institut national des sciences et arts, qui accomplissait et terminait ainsi la mission confiée à son patriotisme.

1. Un kilogramme en platine, pesant dans l'air 88 milligrammes de plus que celui de laiton, a été effectivement exécuté. Il existe à l'Observatoire. Voir les procès-verbaux de la section française, 1869-70.

Dans le discours prononcé à cette occasion à la barre des deux conseils, nous n'avons à signaler que le point de vue neuf et sentimental, conforme au style politique de l'époque, sous lequel l'orateur, malheureusement inconnu, envisage le nouveau système :

« Il y a, dit-il, quelque plaisir pour un père de famille à pouvoir se dire : le champ qui fait subsister mes enfants est une telle portion du globe. Je suis, dans cette proportion, copropriétaire du monde. »

Il ne restait plus qu'à proclamer comme uniques étalons prototypes du système métrique décimal ceux qui avaient reçu la sanction de la science et des pouvoirs publics, et à les substituer aux étalons provisoires de la loi du 1er août 1793 et du 18 germinal an III (7 avril 1795). C'est ce qui fit l'objet de la loi du 19 frimaire an VIII (10 décembre 1799), dont nous extrayons ce qui suit :

Loi qui fixe définitivement la valeur du mètre et du kilogramme, du 19 *frimaire an VIII* (10 *décembre* 1799). — « La Commission du Conseil des anciens, après avoir déclaré l'urgence, prend la résolution suivante :

« Art. Ier. La fixation provisoire de la longueur du mètre à trois pieds onze lignes quarante-quatre centièmes, ordonnée par les lois des 1er août 1793 et 18 germinal an III, demeure révoquée et comme non avenue. Ladite longueur, formant la dix-millionième partie de l'arc du méridien terrestre compris entre le pôle nord et l'équateur, est définitivement fixée, dans son rapport avec les anciennes mesures, à trois pieds onze lignes deux cent quatre-vingt-seize millièmes.

« II. Le mètre et le kilogramme en platine, déposés le 4 messidor dernier (22 juin 1799) au Corps législatif par l'Institut national des sciences et des arts, sont les étalons définitifs des mesures de longueur et de poids dans toute la République. Il en sera remis à la Commission consulaire des copies exactes pour servir à la confection des nouvelles mesures et des nouveaux poids.

« IV. Il sera frappé une médaille pour transmettre à la posté-

rité l'époque à laquelle le système métrique a été porté à sa perfection et l'opération qui lui sert de base.

« L'inscription, du côté principal de la médaille, sera *à tous les temps, à tous les peuples*, et dans l'exergue, *République française an VIII.*

« Les consuls de la République sont chargés d'en régler les autres accessoires. »

Signé : Boulay (de la Meurthe), ex-président ; Béranger, Ludot, secrétaires.

« Les consuls de la République ordonnent que la loi ci-dessus sera publiée, exécutée, et qu'elle sera munie du sceau de la République.

« Fait au palais national des consuls de la République, le 19 frimaire an VIII (10 décembre 1799). »

Signé : Siéyès, Bonaparte, Ducos.

Pour copie conforme : Hugues Maret.

Après le dépôt des étalons définitifs du mètre et du kilogramme en platine aux Archives, la mission de la Commission des poids et mesures était terminée, ainsi que les recherches scientifiques qui avaient servi de bases à l'établissement du système. Tous les éléments et les documents de cet immense travail furent déposés à l'Observatoire de Paris, où il serait bien intéressant de pouvoir les consulter, pour y retrouver au moins quelques indications historiques sur la part de Lavoisier et de Borda dans les études préparatoires.

Organisation du service des poids et mesures. — Dès lors, l'application du système et l'organisation du service rentraient dans les attributions de l'administration. La Commission des poids et mesures avait antérieurement été supprimée et remplacée[1] par une agence temporaire composée de trois membres, Legendre, Coquebert et Gattey, chargée, sous l'autorité de la Commission d'instruction publique, de tout ce qui concernait le renouvellement des poids et mesures, et qui ne devait exister que trois mois à partir du 2 frimaire an III (22 novembre 1794). — Par une loi du 24 pluviôse an III (12 février

1. Loi du 18 germinal an III (17 avril 1795).

1795), cette agence avait été supprimée à partir du 1er ventôse an III (19 mars 1795), et une loi du 1er vendémiaire an IV (23 septembre 1795) l'avait placée (art. 21) sous l'autorité du ministre qui devait avoir la partie des travaux publics.

Dès la même époque, le Conservatoire des Arts et Métiers, dont l'organisation était loin d'être complète, avait dû établir un atelier pour la confection des mesures métriques à envoyer dans les départements, et, à la date du 28 septembre 1795, 5 000 mètres avaient déjà été confectionnés. Mais la pénurie du trésor était telle que les ouvriers de cet atelier n'étant plus payés, il fallut, pour solder l'arriéré qui leur était dû, vendre l'approvisionnement de charbon et une partie des outils. Les travaux furent forcément suspendus.

Le Bureau des longitudes, créé par une loi du 7 messidor an III (25 juin 1795), ressortissait ainsi que l'Institut, les bibliothèques, le Muséum d'histoire naturelle, du bureau des sciences dont le chef était à l'origine M. Jacquemont (voir les almanachs impériaux à partir de 1806), tandis que tout ce qui concernait l'agriculture, l'industrie, le commerce et les poids et mesures dépendait d'un bureau spécial (loi du 10 vendémiaire an IV (2 octobre 1795), sur l'organisation des ministères. — *Bulletin des lois*, 1re série, tome VI.)

Ce fut donc au ministère de l'intérieur que l'on déposa d'abord le mètre provisoire et le kilogramme en laiton destinés aux étalonnages ordinaires[1], et plus tard le second mètre et le second kilogramme en platine fabriqués : le 1er par Lenoir, et le 2e par Fortin, en même temps que ceux qui avaient été déposés aux Archives le 4 messidor an VII (23 juin 1798), et dont il est question page 692, au chapitre du mètre définitif, 3e vol. des *Bases du système métrique*. On trouve d'ailleurs la preuve de ce dépôt du second kilogramme en platine dans un procès-verbal dressé le 18 octobre 1811, par les membres *du Bureau des poids et mesures, établi au ministère de l'intérieur, à l'effet de procéder à la comparaison du kilogramme en platine déposé audit bureau, avec l'étalon conservé aux Archives de l'Empire* (armoire de fer, carton 44, n° 7), signé Gattey, Belleyme, Legendre, L. Mathieu, Andrieux, Fortin.

1. *Rapport sur les bases du nouveau système métrique*, troisième vol., page 644.

A la demande du Bureau des longitudes, un troisième mètre et un troisième kilogramme, également en platine, furent faits plus tard par les mêmes artistes, Lenoir et Fortin. Mais ils n'avaient été terminés et ne furent comparés à ceux des Archives que le 18 nivôse an XIII (8 janvier 1805)[1] par une Commission composée de Lefèvre-Gineau, Delambre, Prony et Burckhardt. Ils sont donc postérieurs de sept ans environ aux étalons déposés au ministère de l'intérieur et plus tard au Conservatoire, les seuls qui soient réellement contemporains de ceux des Archives.

Lors de la création du ministère de l'agriculture, du commerce et des travaux publics qui a subi diverses modifications, le service des poids et mesures et tout ce qui s'y rattache fut séparé de celui de l'intérieur.

Difficultés éprouvées pour l'application du système métrique décimal. — Il était naturel de penser que les efforts de la science et le dévouement de tant de savants, pour la création d'une œuvre dont la France revendiquait à juste titre la gloire, seraient activement secondés pour leur application et pour la propagation de leurs avantages par le gouvernement du pays.

Mais il en fut tout autrement, et il nous reste à montrer que le fruit de tant de travaux rencontra, pour se développer et pour étendre ses bienfaits, autant de difficultés que ses auteurs avaient couru de dangers.

Depuis le dépôt des étalons prototypes aux Archives et la remise du service des poids et mesures au ministère de l'intérieur, l'usage du nouveau système ne s'était d'abord propagé que lentement. Le gouvernement impérial n'avait pas apporté, à beaucoup près, à sa généralisation la même ardeur que la Convention. Napoléon et tous les chefs ou employés des services publics, personnellement familiarisés avec l'usage des anciennes mesures, n'appréciaient pas les nouvelles et surtout leur nomenclature; les tables de construction des grands services publics de l'artillerie, du génie, de la marine, continuèrent longtemps à être réglées en pieds, pouces et lignes. — Les astronomes, les

1. Procès-verbal de la comparaison du kilogramme et du mètre en platine de l'Observatoire avec les étalons des Archives. *Bases du système métrique*, troisième volume, pages 696-697.

savants, les membres de cette Académie, qui avaient si puissamment contribué aux études, se servaient encore habituellement des anciennes mesures. La subdivision duodécimale de quelques-unes d'entre elles se prêtait à certains calculs, et elle avait encore de nombreux partisans qui faisaient de cette facilité une objection, plus spécieuse que valable, à l'adoption du système exclusivement décimal. On oubliait déjà que la question avait été envisagée et discutée sous toutes ses faces par les hommes les plus compétents.

En effet, dès l'époque où la question de l'établissement d'un système uniforme de poids et de mesures fut agitée en France, l'avantage que présenterait la concordance de ses subdivisions et de ses multiples avec l'arithmétique décimale avait paru tellement évident que le principe en fut d'abord universellement admis.

Une Commission, composée de Borda, Lagrange, Lavoisier, Tillet et Condorcet, et chargée d'examiner la question du titre des monnaies, s'exprimait à ce sujet en termes formels dans un rapport qu'elle présentait le 27 octobre 1790 à l'Académie des sciences[1].

« Il est utile que toutes les divisions des mesures, quel que soit l'usage auquel on les emploie, que celles des mesures de longueur, de surface et de contenance, que celles des poids, que celles des monnaies dans leurs valeurs nominales, comme pour les pièces employées dans le commerce, soient assujetties à la même échelle. Enfin l'échelle arithmétique doit servir de base à toutes ces divisions.

« On sent combien cette unité simplifie toutes les opérations par lesquelles on est obligé de comparer les volumes avec les poids, les prix avec les poids et les mesures. De même, en prenant pour base commune l'échelle arithmétique, tous les calculs de commerce se réduisent à des calculs de nombres entiers.

« L'adoption de l'échelle arithmétique pour toutes les divisions diminuera beaucoup les embarras qui doivent naître de l'établissement des nouvelles mesures, et tous ceux qui sauront l'arithmétique simple pourront en calculer toutes les divisions.

1. *Histoire de l'Académie royale des sciences*, 1788, page 5.

« Nous concluons donc que l'échelle décimale doit servir de base à toutes les divisions, et que même le succès de l'opération générale sur les poids et mesures tient en grande partie à l'adoption de cette échelle[1]. »

Mais si l'on fut, à l'origine, d'accord sur les avantages de l'application de la numération décimale au nouveau système des poids et mesures, avantages que la routine fit contester plus tard, comme nous le dirons, il n'en fut pas de même des noms à donner aux diverses unités et à leurs subdivisions.

Il y eut successivement cinq nomenclatures différentes, proposées ou adoptées, et quelques-unes étaient aussi singulières que peu rationnelles. Malgré des difficultés postérieures, dont nous allons parler, celle qui fut fixée par la loi du 18 germinal an III (7 avril 1795), et qui était la plus conforme aux principes adoptés par la Commission de l'Académie des sciences, a fini par triompher de toutes les objections. L'expérience prouve d'ailleurs tous les jours que sa concordance si complète avec les principes de la numération rend l'exposition du système très-facile à saisir, même par les enfants des écoles primaires. Il n'y avait réellement d'autre obstacle à son adoption que la routine des parents.

Si des habitudes personnelles opposèrent ainsi à l'introduction du système métrique dans les usages de la population de réelles difficultés, dont il aurait cependant fini par triompher, après quelques années, son succès si désirable fut plus longtemps encore retardé par de fausses mesures prises à diverses époques par le gouvernement.

Par un arrêté en date du 13 brumaire an IX (4 novembre 1800), le premier consul de la République avait déjà commis une première faute, qui aurait pu avoir des conséquences graves. Dans la fausse pensée qu'il faciliterait l'exécution de la loi du 1er vendémiaire an IV (23 septembre 1795) sur le système décimal des poids et mesures, il avait autorisé la traduction en noms français des dénominations nouvelles adoptées. Il tendait ainsi à remettre en usage, mais pour des mesures de dimensions différentes, les noms des anciennes mesures, ce qui

1. *Histoire de l'Académie royale des sciences*, 1782, page 7.

ne pouvait que produire une confusion à peu près inextricable[1].

Cet arrêté ne reçut heureusement aucune exécution.

Mais, persistant douze ans plus tard dans cette voie fâcheuse, l'Empereur, par un décret du 12 février 1812, reculant devant des obstacles que le temps aurait effacés, autorisa le ministre de l'intérieur, « tout en conservant, disait-on, l'unité des poids et mesures du système métrique telle qu'elle avait été fixée par les lois constitutives de l'an III et de l'an VIII, à faire confectionner, pour les besoins du peuple, des instruments de pesage et de mesurage, qui présentassent les divisions de ces mêmes unités, non plus décimales, mais le plus en usage dans le commerce.

« L'on eut ainsi une toise composée de deux mètres et divisée en six pieds et le pied équivalant au tiers du mètre ou à $0^m.333$, qui se subdivisa en douze pouces et le pouce en douze lignes.

« Une mesure de douze décimètres ($1^m.20$), qui approchait de l'ancienne aune, en reprit le nom et contint toutes les subdivisions de celle-ci.

« Pour le mesurage des grains on rétablit le boisseau avec son double, son demi et son quart.

« A la livre, que l'on fit égale au demi-kilogramme, l'on rendit ses onces, ses gros et ses grains.

« Les anciennes mesures n'étant pas encore sorties des habitudes de la population, l'on avait deux toises, deux pieds, deux boisseaux, deux livres, etc., indépendamment des mesures métriques. »

Nous pouvons ajouter que, par suite du peu d'énergie que mettait déjà et que continua à mettre le gouvernement à rendre obligatoire le nouveau système de mesures, il y avait dans la seule ville de Metz un pied métrique de $0^m.333$, un pied de roi de $0^m.327$, le pied messin de $0^m.300$ et le pied des carriers de $0^m.270$.

Averti du projet qui se préparait et péniblement impressionné de cette tendance rétrograde, qui compromettait le succès futur de la grande institution à laquelle il avait eu l'honneur de

1. Ces renseignements sont extraits d'une *Notice sur le système métrique*, due à M. le général marquis de Laplace, publiée en mai 1864.

prendre part, Laplace écrivit le 3 février 1804 à Chaptal, ministre de l'intérieur, une lettre dont nous extrayons les passages suivants :

« Je vous envoie, mon cher ami, quelques observations sur les changements dans le système des poids et mesures dont vous m'avez parlé dernièrement aux Tuileries.

« Vous m'avez affligé en m'apprenant que vous les aviez proposés aux consuls. J'aurais désiré que vous en eussiez conféré avec moi, ainsi qu'avec Berthollet, Delambre et quelques autres de nos amis, qui se sont particulièrement occupés de cet objet. Je ne verrais pas sans douleur notre beau système métrique altéré dans sa partie la plus essentielle. A la nomenclature près qui, comme vous le savez, ne fut pas notre ouvrage, je le crois le plus parfait que l'on puisse imaginer. On a dû s'attendre aux difficultés qu'il éprouve, mais je vous engage, au nom de l'amitié qui nous lie, à ne point vous laisser rebuter par elles et à prendre les mesures que votre bon esprit vous suggérera pour les surmonter. Le temps achèvera de les faire disparaître, et la génération future vous saura gré de vos efforts et de votre constance. »

Peu confiant dans l'énergie de caractère que son ami Chaptal pouvait développer pour résister aux idées de Napoléon, Laplace remit à l'Empereur lui-même, à la date du 7 mai 1811, une lettre dans laquelle il cherchait à lui faire apprécier tous les avantages du système et à le décider à l'appuyer de sa puissante influence.

Malheureusement Laplace, pour vaincre les préventions de l'Empereur contre le système métrique, se croyait obligé de leur faire certaines concessions relativement à quelques subdivisions et à la nomenclature si rationnelle cependant qui avait été adoptée, et pour achever de le rapprocher de ses idées, il proposait de donner au système, ainsi modifié, le nom de *Mesures Napoléones*. Fâcheuse faiblesse, qui, si elle eût été suivie d'effet, aurait, peu d'années après, été auprès de certaines personnes un motif de rejeter tout le système.

Une note manuscrite que Laplace a laissée, et qui a été publiée par le général son fils, est plus explicite et plus formelle que sa lettre à l'Empereur. Elle exprime nettement son opinion sur la supériorité de l'échelle décimale.

« Le principal avantage du système métrique, dit-il, est dans sa division décimale. Il n'y eut jamais le plus léger doute à cet égard, ni dans l'Académie des sciences, ni dans l'Institut national, ni dans la Commission des poids et mesures à laquelle étaient réunis plusieurs savants célèbres, députés par les puissances alliées de la France. On sait combien sont longues et pénibles toutes les opérations sur les nombres complexes. Le mélange de plusieurs échelles arithmétiques exige une multitude de règles difficiles à connaître et dont la pratique expose à de fréquentes méprises. Toutes les divisions du système métrique étant assujetties à l'échelle décimale, les calculs des mesures, des poids et des monnaies sont les mêmes que pour les nombres entiers. On pourra les abréger encore au moyen de petites tables de logarithmes, dont l'usage est beaucoup plus facile que celui des règles sur les nombres complexes. Ainsi deux des plus belles inventions dont l'esprit humain s'honore, le système arithmétique et les logarithmes seront répandus dans toutes les classes de la société. Renoncer à ces avantages, ce serait faire un pas rétrograde et affligeant pour ceux qui s'intéressent aux progrès de la civilisation : car il est permis d'espérer qu'un jour notre système métrique, le meilleur que l'on puisse imaginer et qui, se rattachant dans toutes ses parties à la mesure de la terre, convient également à tous les peuples, sera aussi généralement adopté que le système arithmétique, dont il est le complément, et qui sans doute eut à vaincre les mêmes difficultés que les anciennes habitudes opposent à l'introduction des nouvelles mesures. Ces habitudes devront s'effacer : elles céderont bientôt au besoin d'un système uniforme et à la simplicité du système métrique, et si le gouvernement, par de sages arrêtés et surtout par l'influence de l'instruction et de son exemple, veut la favoriser, la génération qui s'élève jouira sans obstacle de ce grand bienfait. Le changement que l'on propose, en contrariant à la fois les anciennes et les nouvelles habitudes, éprouverait encore plus de difficultés, et la crainte bien fondée qu'il ferait naître de changements ultérieurs les rendrait insurmontables. »

Ces avis réitérés, si conformes aux principes qui avaient dirigé la grande Commission, ne purent arrêter l'établissement des mesures dites usuelles, qui vinrent se joindre à toutes les autres dans le pays.

La Restauration laissa subsister cette multiplicité des mesures, sans prendre autrement souci du désordre qui en résultait.

Mais peu à peu l'opinion publique avait fini par apprécier pratiquement les avantages du nouveau système; il était enseigné exclusivement dans les écoles publiques, un service de vérification avait été organisé, imparfaitement, il est vrai.

Enfin, en 1837, le gouvernement de Juillet, sous le ministère de M. Guizot, auquel la France n'a pas encore oublié qu'elle doit les lois sur l'enseignement primaire et sur les chemins vicinaux, voulant mettre un terme à tant d'incertitudes, présenta une loi qui rendait obligatoire l'emploi des poids et mesures métriques établis par les lois du 18 germinal an III (7 avril 1795) et du 19 frimaire an VIII, à l'exclusion de tous autres, à partir du 1er janvier 1840.

Le rapporteur du projet de loi à la Chambre des députés était le vénérable M. Mathieu de l'Institut qui, fermement convaincu qu'il serait dangereux d'y laisser introduire la plus légère exception aux règles générales, réussit à faire écarter celle qui était demandée et appuyée par le ministre pour les poids pharmaceutiques, sous le spécieux prétexte des inconvénients qu'il y aurait à modifier les prescriptions du codex médical.

Il fut ainsi donné à M. Mathieu d'avoir assisté aux premiers travaux de la grande Commission de l'Académie des sciences, d'avoir puissamment contribué à l'application définitive en France du système métrique, et de présider aujourd'hui la Commission internationale du mètre réunie à Paris et dans laquelle sont représentés vingt-huit gouvernements des pays civilisés.

A dater de cette loi, le service de vérification des poids et mesures reçut une organisation moins imparfaite.

Pour l'exécution de la loi du 4 juillet 1837, le gouvernement promulgua et publia d'abord, à partir de cette époque, une série d'ordonnances, de décrets et d'instructions sur la fabrication et sur la vérification des poids et mesures. La dernière édition de ce recueil est de 1862.

Une ordonnance du roi, en date du 17 avril 1839, avait organisé le service des vérificateurs des poids et mesures. Chaque arrondissement devait en avoir un. Ils étaient placés sous la surveillance directe des préfets, et ne devaient être nommés qu'après

avoir fait preuve de la capacité nécessaire par un examen. Il leur était fourni, par le Ministère de l'agriculture et du commerce, un assortiment d'étalons poinçonnés et destinés à leur service. Cet assortiment devait être vérifié de nouveau tous les dix ans.

Par conséquent, la première de ces vérifications devait avoir lieu en 1849. Malgré la réclamation adressée à cette dernière date au gouvernement par la direction du Conservatoire, cette opération importante n'a eu lieu pour la première fois qu'en 1868. Le rapport qui en constatait les résultats a mis en évidence la nécessité de la faire régulièrement pour conserver au service la précision voulue.

De nombreuses instructions sur la matière, sur la forme, sur les alliages, sur les balances à employer par l'industrie pour la fabrication, furent successivement publiées.

Outre les étalons confiés aux vérificateurs, il leur est remis des nécessaires, facilement transportables, contenant les objets utiles à leur service, et dont la disposition n'a pas cessé d'être successivement améliorée.

La prescription la plus importante des instructions données aux vérificateurs est la suivante, dont ils ne doivent jamais s'écarter :

« Les vérificateurs doivent considérer les étalons des mesures et des poids comme des choses très-précieuses et en quelque sorte sacrées, dont le maniement n'est permis qu'à eux seuls, et qui ne doivent jamais être déplacées. Un vérificateur qui se permettrait de confier un étalon, soit à un fabricant, soit à tout autre, encourrait la peine de la destitution, sans préjudice des autres condamnations auxquelles l'exposerait la perte ou la détérioration des étalons. »

La vérification générale faite au Conservatoire des arts et métiers en 1868-69 a montré la nécessité d'une organisation plus complète, et surtout celle d'une inspection régulière du service pour l'exactitude duquel on ne peut compter sur l'action administrative des préfets, généralement peu compétents. Un règlement nouveau a fixé les limites des tolérances à admettre, soit pour les étalons des vérificateurs, soit pour les mesures et les poids du commerce, afin d'obtenir partout dans le service la régularité nécessaire.

Mais là ne se bornèrent pas les vues civilisatrices du gouvernement, et il se préoccupa activement des démarches à faire et des mesures à prendre pour assurer la propagation à l'étranger d'un système appelé à faciliter tous les rapports, toutes les transactions des nations entre elles.

Marche de la propagation du système à l'étranger. — Le peu d'intérêt que le gouvernement français lui-même avait apporté jusqu'alors au développement de l'usage du nouveau système de poids et mesures à l'intérieur du pays, qui l'avait créé, n'avait pu en disposer d'autres à l'adopter. Aussi sa propagation à l'extérieur fut-elle longtemps à peu près nulle ou du moins fort lente.

De 1811 à 1863 il n'avait été fait que sept comparaisons officielles avec le mètre et neuf avec le kilogramme, et en admettant même que le relevé de ces opérations ne soit pas complet, ce qui nous paraît très-probable, il n'en résulte pas moins que, toujours confiées à des physiciens ou à des artistes habiles, opérant avec des instruments délicats, elles n'ont pas été assez multipliées pour que les étalons et en particulier le mètre aient pu être altérés, comme on a cherché à en répandre pendant quelque temps l'idée dans le public.

Leur état très-satisfaisant de conservation a d'ailleurs été officiellement constaté par la Commission internationale du mètre dans sa session de 1872, et la question est jugée.

A partir de 1837, ces comparaisons étaient devenues un peu plus fréquentes. Mais, outre celles qui étaient faites avec les étalons des Archives, il en était exécuté de plus en plus nombreuses avec les seconds étalons déposés au Conservatoire.

Transport du service des poids et mesures au Conservatoire des arts et métiers par le Ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics. — L'organisation des bureaux d'un ministère ne comportant pas par elle-même les moyens matériels et le personnel scientifique indispensables pour les opérations délicates, et les études qu'exigent la vérification et la comparaison des mesures et des poids, soit entre eux, soit avec des étalons nationaux ou étrangers, chaque fois qu'il y avait de semblables opérations à faire, le gouvernement était obligé de former des commissions spéciales, pour la composition desquelles il faisait appel au zèle des

membres de l'Institut, aux professeurs du Conservatoire ou à des artistes. Mais à partir de la loi de 1837, appréciant toute l'importance qu'aurait pour le monde savant, industriel ou commercial la généralisation de l'emploi du système métrique décimal, il se décida à transférer tout le service des poids et mesures au Conservatoire des arts et métiers, qui est placé dans les attributions du Ministère de l'agriculture et du commerce, pour y concentrer toutes les opérations de ce genre.

En même temps et toujours en vue de parvenir à la propagation générale du système, et afin d'être en mesure de satisfaire aux demandes qu'il prévoyait devoir lui être faites par des gouvernements étrangers, qu'il invitait à faire avec lui des échanges de mesures, il avait pris les dispositions suivantes :

En 1840, trente séries de mesures, composées chacune d'un mètre, d'un kilogramme et d'un litre en laiton, furent commandées au célèbre artiste Gambey, membre de l'Institut, et destinées à ces échanges. La plus grande partie y a été employée. Il y en a encore quelques-unes disponibles au Conservatoire.

Le 30 septembre de la même année, un comparateur à mouvement longitudinal, avec microscope et tracelet, pour la comparaison des mètres à bouts et des mètres à traits, ainsi que pour l'exécution de ces derniers, fut commandé au même artiste.

La maladie et la mort de Gambey, survenue en janvier 1847, retardèrent la livraison de ces objets jusqu'à la fin de 1847.

D'une autre part, dès 1841, le 9 novembre, à l'occasion de comparaisons de mesures ottomanes avec celles du système métrique, M. Cunin Gridaine, ministre de l'agriculture et du commerce, écrivait à son collègue des affaires étrangères la lettre suivante :

.... « Mon intention étant d'étendre cette comparaison aux mesures de longueur ainsi qu'aux poids et mesures de capacité des différentes puissances avec lesquelles nous entretenons des relations commerciales, je viens vous prier de m'aider à réaliser cette mesure.

« Je me propose de procéder à cet égard par voie d'échange et d'offrir la collection des étalons français, c'est-à-dire le mètre, le kilogramme et le litre, pour la collection des types des poids et mesures de chaque État. La comparaison des types étrangers et des types français sera faite ensuite avec toutes les garanties

et l'authenticité convenables, et je vous ferai remettre un procès-verbal de l'opération.

.... « Je pense d'ailleurs que la proposition peut être, dès ce moment, étendue à l'Angleterre, à la Russie, à la Hollande et aux différents États de l'Allemagne et de l'Italie, et je me persuade que, justement appréciée, elle sera partout accueillie avec faveur. »

Le 8 décembre de la même année, M. Guizot, ministre des affaires étrangères, répondait à son collègue :

.... « J'apprécie comme vous l'utilité de cette opération. Je viens en conséquence de charger les ambassadeurs et ministres du roi, dans les pays que vous m'avez indiqués, de proposer aux gouvernements près desquels ils sont accrédités, de procéder à l'échange de types de poids et mesures nécessaires pour établir la comparaison avec toute l'exactitude désirable. »

Aussitôt que le Ministre de l'agriculture et du commerce fut en possession des étalons commandés à Gambey, il s'empressa d'en envoyer à son collègue dix-huit collections accompagnées d'autant d'exemplaires du recueil officiel des lois, ordonnances et instructions en vigueur sur la matière et d'un atlas de quatorze dessins coloriés; le tout était destiné non-seulement aux États qui avaient accédé à la proposition d'échange, mais encore à ceux qui avaient ajourné leur réponse.

Ces collections étaient adressées aux États suivants : Suède, Norwége, Russie, Prusse, Hanovre, Wurtemberg, Hesse-Cassel, Baden, Toscane, Rome, Lucques, Hambourg, Lubeck, Brunswick, Bavière, Hesse-Darmstadt, Sardaigne, Brême.

Le degré de précision obtenu par Gambey, pour les étalons, était d'un millième de millimètre pour les mètres et d'un demi-milligramme pour les kilogrammes.

Les événements de 1848 n'ajournèrent que fort peu l'exécution des mesures arrêtées au Ministère de l'agriculture et du commerce. Au mois d'avril de cette année, M. Pouillet, administrateur du Conservatoire des arts et métiers, recevait un arrêté ministériel dans lequel il est dit :

« Dans l'intérêt de la science et de l'industrie, le dépôt central des étalons prototypes établi au Ministère de l'agriculture et du commerce sera transféré au Conservatoire national des arts et

métiers, et placé sous votre direction et sous votre surveillance spéciales. »

On y lit aussi : « La Loi du 4 juillet 1837, en rétablissant dans sa pureté primitive le système métrique décimal, a fait surgir de nouveau la grande pensée, complément nécessaire de l'admirable institution des poids et mesures. Un local fut préparé à cet effet en 1841, des appareils comparateurs d'une grande précision ont été exécutés par l'illustre Gambey, dont la France déplore encore la perte, et des négociations furent entamées avec toutes les puissances étrangères qui s'empressèrent pour la plupart d'adhérer à ce projet de travail et transmirent au département du commerce, en échange des types français, une collection de leurs propres étalons.

« Tout est donc prêt pour commencer le travail de comparaison. Ce travail consistera :

« 1° A constater l'authenticité et l'exactitude des étalons étrangers.

« 2° A comparer leur valeur avec celle des types français.

« Cette double tâche devra se continuer sous votre direction. »

Plus loin, on lit : « Quant au travail de comparaison des mesures françaises et étrangères, qui devait être exécuté sous les auspices d'une Commission scientifique, il doit être poursuivi sous votre direction personnelle; mais le concours de mon département ne vous manquera pas pour provoquer auprès des puissances étrangères l'envoi des documents ou des explications qui pourraient vous être nécessaires. Je n'ai pas besoin d'ailleurs de vous dire quelle importance j'attache à l'achèvement de ce travail. C'est une œuvre non moins belle qu'utile. En la remettant dans vos mains, je sais que je vous impose une tâche difficile; mais je me persuade que personne, mieux que vous, ne pouvait réaliser la conception de l'Assemblée nationale et que votre dévouement ne restera pas au-dessous de la grandeur de cette entreprise. »

L'on voit, par les renseignements précédents et par l'extrait de la dépêche adressée, il y a 25 ans, à M. Pouillet, qu'immédiatement après le vote de la loi de 1837, le gouvernement français se préoccupait sérieusement d'entrer en relations suivies avec tous les gouvernements étrangers, pour parvenir à propager au-

tant que possible, parmi toutes les nations civilisées, l'usage de ce système décimal de mesures, si propre à faciliter les rapports scientifiques, industriels et commerciaux. Il devançait ainsi de 20 à 30 ans toutes les manifestations d'opinions qui, principalement à l'occasion des expositions universelles, se sont produites de 1851 à 1868, tant en France qu'à l'étranger.

Parmi les étalons et les instruments remis en 1848 au Conservatoire des arts et métiers, se trouvaient :

1° La célèbre pile de Charlemagne, dont le poids de 50 marcs comparé au kilogramme par Lavoisier d'abord, et plus tard par Lefèvre-Gineau, a été trouvé égal à 12kil,223.

2° Le mètre et le kilogramme prototypes faits en même temps, avec le même platine et par les mêmes artistes que ceux qui sont déposés aux Archives, et qui, par suite de l'arrêté des consuls en date du 19 frimaire an VIII (10 décembre 1799), avaient été déposés au Ministère de l'intérieur.

3° Plusieurs mètres et kilogrammes en laiton, de la même origine, construits par les mêmes artistes, et entre autres le mètre provisoire fait en exécution de la loi du 1er août 1793, sous la direction de Borda et de Brisson, dont il a été parlé précédemment.

4° Enfin tous les instruments existant alors au Ministère pour le service de la vérification des mesures.

Outre de nombreuses collections de mesures et de poids anciens de France, la collection du Conservatoire possède aujourd'hui en mesures étrangères environ 50 mesures de longueur, 80 et quelques poids et 140 mesures de capacité de divers pays.

Depuis 25 ans que la dépêche, dont on vient de donner des extraits, fut adressée à M. Pouillet, la direction du Conservatoire a poursuivi l'accomplissement de la tâche qui lui avait été imposée, et ses efforts incessants ont eu en même temps pour but le perfectionnement des méthodes et celui des instruments de comparaison.

Un comparateur à touches et un compas à verges avaient été imaginés par feu Silbermann, conservateur des collections, et ils avaient été employés, à l'aide de quelques dispositions spéciales, pour opérer dans la glace fondante et à des températures d'environ 50°, entre le mètre de l'établissement et divers autres en laiton

ou en fer, des comparaisons pour lesquelles on n'aurait pas osé plonger dans un liquide celui des Archives.

A partir de cette époque et par suite des relations que les expositions universelles de 1851, 1855 et 1862, avaient établies entre les savants et les ingénieurs de tous les pays civilisés, les avantages du système métrique décimal furent de plus en plus universellement appréciés.

Les demandes d'échanges et de comparaisons se multiplièrent et prirent un caractère international d'autant plus important que, pour la plupart des pays étrangers qui les réclamaient, il s'agissait d'obtenir des étalons destinés à devenir leurs prototypes nationaux.

Les opérations se faisaient avec les étalons en platine du Conservatoire des arts et métiers, et pour permettre d'en rapporter les résultats à ceux des Archives sans perdre de vue la sage recommandation faite par la grande Commission *de ne faire usage de ceux-ci que pour les cas d'une grande importance*, la direction du Conservatoire, proposa, le 24 septembre 1863, au Ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics, la création d'une Commission spéciale [1], ayant pour mission de faire une comparaison officielle des deux étalons du Conservatoire avec ceux des Archives, et d'en constater les résultats dans un procès-verbal destiné à faire foi pour les comparaisons ultérieures à exécuter avec les étalons des divers gouvernements étrangers.

Cette proposition ayant été adoptée, la Commission, pour opérer à une température aussi voisine que possible de celle de zéro, se rendit aux Archives en janvier et en février 1864, dans une salle du rez-de-chaussée à un moment convenable.

D'une autre part, afin d'éviter les erreurs dans les corrections à apporter aux pesées dans l'air et la nécessité de tenir compte de la différence du volume, on fit construire, pour la première fois, sur la proposition de M. Tresca, deux kilogrammes de platine,

1. Cette Commission était composée de MM. le général Morin, président; Delaborde, de l'Institut, directeur des Archives; Tresca, sous-directeur et professeur de mécanique au Conservatoire; Silbermann, conservateur des collections; et Froment, constructeur d'instruments de précision, membre du Conseil de perfectionnement du Conservatoire.

ayant aussi exactement que possible les mêmes dimensions extérieures que celui des Archives.

Les résultats de ces opérations sont consignés dans un procès-verbal en date du 5 mars 1864, qui a été vu et approuvé pour *servir de base aux opérations de vérifications officielles le* 16 *avril* 1864, par M. Armand Béhic, alors ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics.

A dater de cette époque et à l'aide des résultats de cette comparaison, l'on put, en opérant avec les étalons du Conservatoire, rapporter tous les résultats à ceux des Archives, sans recourir à ceux-ci. L'on y trouva, en outre, l'avantage de pouvoir faire réellement les comparaisons à la température de la glace fondante, ce que l'on n'aurait pas osé faire avec le mètre des Archives.

Enfin un appareil pour faire les pesées dans le vide, et semblable à celui que M. Regnault avait fait faire pour le Collége de France, fut joint aux autres moyens de comparaisons que possédait l'établissement.

Comparaison des mètres à bouts avec les mètres à traits. — Des objections plus spécieuses que réelles avaient été faites sur la difficulté qu'offraient les instruments connus, pour comparer des mesures à bouts avec des mesures à traits, auxquelles un certain nombre de géodésistes semblaient vouloir donner la préférence. Elles furent levées, d'abord à l'aide d'un dispositif très-simple, imaginé par M. Tresca. Plus récemment elles l'ont été encore par un moyen tout différent et plus précis, proposé par M. Fizeau et qui a été adopté par la Commission internationale du mètre.

Un comparateur à mouvement longitudinal, d'un usage aussi commode que sûr, avait été aussi conçu par M. Tresca et construit sous sa direction dans les ateliers de M. Froment. Il figurait à l'exposition universelle de 1867, et appartient au Conservatoire. L'on peut y faire les observations à la température ambiante, à celle de la glace fondante, les répéter aussi souvent qu'on le juge nécessaire, sans aucun déplacement des mesures à comparer, condition dont l'expérience a montré l'utilité et qui abrége beaucoup les opérations. Il permet aussi de comparer les mesures par un mouvement transversal.

Le même appareil sert à exécuter, avec la même facilité, le

tracé des mètres à traits au degré de précision voulu. Enfin l'on pouvait faire la détermination des coefficients de dilatation à l'aide du compas à verges de Silbermann, maintenu à la température de la glace fondante.

Ce type de comparateur, déjà très-satisfaisant, a reçu depuis de très-importants perfectionnements, sous la direction de la section française de la Commission internationale et d'après des indications données par M. Fizeau. Il a été adopté par la Commission entière, pour l'exécution des mètres à traits, conformes au mètre à bouts des Archives. L'expérience montrera s'il n'est pas également propre aux comparaisons.

Comme complément des mesures précédemment prises par le gouvernement français pour assurer à l'intérieur la régularité du service des poids et mesures, il convient de citer le décret récent du 26 février 1873, sur l'organisation et le recrutement du service de la vérification.

D'après ce décret, l'admission dans le service de la vérification en qualité d'adjoint, au lieu d'être une des attributions des préfets, n'est prononcée par le ministre de l'agriculture et du commerce qu'à la suite d'un concours public. Il y a cinq classes de vérificateurs et des vérificateurs en chef chargés du contrôle général du service.

Il y a lieu d'espérer que cette organisation hiérarchique, où rien n'est laissé à l'arbitraire ou à la faveur, contribuera puissamment à en améliorer la marche.

État de la propagation du système métrique en 1868. — Au commencement de 1868, quatorze États différents avaient reçu, par les soins du Conservatoire des arts et métiers, depuis qu'il était chargé de ce service, des mesures métriques étalonnées, et de nouvelles comparaisons lui étaient demandées.

Mais dans les questions qui, de même que celles relatives aux mesures, aux poids et aux monnaies, se rattachent à tous les travaux de la science et de l'industrie, à toutes les transactions du commerce, l'action seule des gouvernements les plus éclairés et les plus libéraux ne suffit pas. Il faut de toute nécessité qu'elle soit secondée par celle de l'opinion publique nécessairement bien plus lente à se former, surtout quand il s'agit, comme dans

le cas actuel, d'obtenir l'assentiment d'un grand nombre de nationalités différentes.

Les expositions universelles, parmi leurs plus heureux résultats, ont eu pour effet, par la vue des objets eux-mêmes, par l'examen des formes si simples des trois types du système métrique décimal, le mètre, le kilogramme et le litre, de familiariser le public innombrable qui les visitait avec ces éléments et de faire ressortir toute la supériorité de leur usage sur celui des autres systèmes plus ou moins compliqués des divers pays. — Aussi ont-elles largement contribué à mettre de plus en plus en faveur l'idée d'une généralisation et d'une adoption universelle que le temps achèvera graduellement de réaliser.

Dès 1851, le Conservatoire avait, dans ce but, envoyé à Londres une collection complète de poids et de mesures métriques décimales, les unes de précision, les autres usuelles. On y remarquait déjà un mètre en platine à bouts et à traits, construit par M. Brunner sur les indications de M. Silbermann. Le trait était indiqué par une mince feuille d'or serrée contre le bout du mètre par un talon en platine.

L'idée était simple, mais le trait formé par la feuille d'or, quoique déjà très-fin, était loin d'avoir la régularité et la précision que l'on exige aujourd'hui.

A l'exposition de 1855, le professeur M. Steinheil, savant bavarois [1], qui depuis longtemps avait reconnu les avantages du système métrique, avait présenté à l'Exposition un mètre-type, en verre, à bouts sphériques, et un kilogramme en cristal de roche avec ses subdivisions.

Enfin, à la suite de cette exposition de 1851, il se manifesta parmi les hommes de science, les ingénieurs, les industriels de tous les pays, un sentiment presque unanime de l'utilité et même de la nécessité d'adopter un système uniforme de poids et mesures.

Nous en trouvons, dans un important mémoire publié par M. le professeur Leone Levi, membre de la Société royale de Londres, une expression que nous croyons devoir reproduire, parce qu'elle a été suivie de décisions importantes de la part de la Société des Arts de Londres.

1. Rapports sur l'Exposition universelle de 1855.

Voici comment s'exprimait le savant professeur : « La première manifestation du besoin d'un système décimal universel de poids et mesures se produisit à l'Exposition internationale de 1851, lorsqu'on se trouva en présence de l'immense variété de produits envoyés de toutes les contrées du monde, et dont la valeur, ainsi que les quantités, étaient rapportées à toutes sortes d'étalons de mesures.

« A la fin de cette exposition, la Société des Arts, dans un Mémoire adressé aux lords commissaires de S. M. à la trésorerie, soumit à leur examen la question d'une grande importance de savoir si, pour l'introduction d'un système décimal de monnaies, de poids et de mesures, on ne pourrait pas prendre avec les nations voisines quelques arrangements, qui conduiraient à l'adoption d'un système uniforme dans le monde entier.

« Ce ne fut cependant qu'à la clôture de la session du Congrès international de statistique tenu à Paris en 1855, qu'en vue du développement des relations internationales sociales, industrielles ou scientifiques, et sur la proposition de M. James Yates, membre de la Société royale, eut lieu une réunion spéciale dans laquelle fut décidée la formation d'une association internationale pour poursuivre l'adoption d'un système décimal de poids, de mesures et de monnaies.

« L'association, après avoir examiné les avantages des différents systèmes en usage dans le monde, se décida en faveur du système métrique à cause de son caractère scientifique et international, et, en conséquence, elle se chargea de le faire valoir de préférence à tout autre d'un usage plus restreint et plus local.

« C'est ainsi que la question de l'uniformité des poids et mesures, qui a, depuis si longtemps, fixé l'attention du gouvernement français et de ses voisins du continent, fut forcément soumise à l'examen des membres du jury et des commissaires de cette exposition de 1855, et qu'ils furent amenés à faire connaître leur opinion, qui se traduisit par la déclaration suivante extraite d'un Mémoire adressé le 19 mars 1859 à M. Disraëli, chancelier de l'Échiquier, par une députation de l'association.

« A l'Exposition universelle de l'industrie de Paris en 1855, environ 200 commissaires ou membres du jury, dont une partie étaient sujets de la Grande-Bretagne, ont exposé leur opinion

formelle en faveur de l'adoption d'un système uniforme de poids et mesures. Après avoir établi les motifs de leur conviction, ils ont conclu dans les termes suivants :

« En conséquence, nous, commissaires et membres du jury, nous considérons comme un devoir de recommander énergiquement à l'attention de nos gouvernements respectifs et des hommes éclairés amis de la civilisation, et partisans de la paix et de l'harmonie dans le monde, l'adoption d'un système uniforme de poids et mesures, basé sur la numération décimale pour les multiples et les sous-multiples, ainsi que pour les éléments des différentes unités. »

A cette même Exposition, plusieurs de nos plus habiles artistes avaient envoyé des collections d'instruments et d'appareils d'exécution et de comparaison des mesures métriques.

Les mêmes opinions continuèrent à gagner du terrain, en 1862, à Londres, où l'on vit aussi des mesures métriques exposées par des ingénieurs italiens.

Mais ce fut surtout à l'époque de l'Exposition de 1867 que le mouvement d'opinion du monde savant et des industriels se manifesta avec le plus d'intensité.

Un Comité, formé des délégués de la plupart des pays représentés à l'Exposition, avait été constitué sous le titre de Comité des poids et mesures et des monnaies [1], pour s'occuper de la question de leur uniformité. Il était présidé par M. Mathieu, de l'Institut de France.

Un rapport rédigé avec beaucoup de soin par M. Jacobi, président de l'Académie des sciences de Saint-Pétersbourg, et qui fut approuvé le 15 juin 1867 par le Comité, établissait les quatre propositions suivantes :

« 1° Le système décimal ou décadique, conforme au système de numération universellement employé, est le plus propre à exprimer les multiples et les sous-multiples des poids, des mesures et des monnaies.

« 2° Le système métrique est parfaitement propre à être universellement adopté, en raison des principes scientifiques sur lesquels il est établi, de l'homogénéité qui règne dans toutes ses

1. Rapports et procès-verbaux du Comité des poids et mesures de l'Exposition universelle de 1867. E. Dentu, libraire.

parties, de sa simplicité et de la facilité de ses applications dans les sciences, dans les arts, dans l'industrie et le commerce.

« 3° Les instruments de précision et les méthodes employés pour obtenir des copies des poids et mesures prototypes ont atteint une perfection telle, que l'exactitude de ces copies répond aux besoins de l'industrie et du commerce et même aux exigences de la science dans son état actuel.

« 4° Comme toute économie de travail, tant matériel qu'intellectuel, équivaut à une véritable augmentation de richesse, l'adoption du système métrique, qui se range dans le même ordre d'idées que les machines et les outils, les voies ferrées, les télégraphes, les tables logarithmiques, se recommande particulièrement, sous le point de vue économique. »

Sans prétendre rien imposer aux divers gouvernements, le Comité exprimait en outre le vœu de voir :

1° Prescrire l'étude du système métrique dans toutes les écoles et exiger sa connaissance dans tous les concours publics.

2° Introduire son usage exclusif dans les publications scientifiques, dans les statistiques publiques, dans les postes, dans les douanes, dans les travaux publics et dans telles autres branches de l'administration que les gouvernements jugeront convenable.

Déjà le second de ces vœux était réalisé en partie par le monde savant et industriel. Dans la plupart des travaux publiés par des chimistes étrangers, les pesées sont rapportées au kilogramme.

En 1864, il m'a été donné de constater que, dans les instituts polytechniques si nombreux en Allemagne, les projets de construction des élèves et les calculs qui les accompagnent sont, le plus souvent, rédigés en mesures métriques.

D'une autre part, des États puissants avaient rendu légal, mais non obligatoire, l'usage de ces mesures. A la suite d'une enquête parlementaire ouverte en 1862, l'Angleterre, par un bill en date du 29 juillet 1864, l'avait autorisé dans toutes les transactions. La taxe des lettres y est même réglée par un poids équivalent à 10 grammes.

Un rapport en date du 25 juillet 1866, adressé par le Comité des poids et mesures au secrétaire du gouvernement du Bengale, insiste sur la nécessité d'introduire, dans toutes les parties de l'Inde britannique, une uniformité que tous les intérêts commerciaux réclamaient; on y lit le passage suivant :

« Dans l'opinion du lieutenant-gouverneur, ce rapport est un travail remarquable et parfaitement motivé. Il n'y a aucun doute que les changements que le Comité propose ne soient d'une nature radicale, mais les motifs qui commandent de telles modifications sont d'une vérité incontestable, tandis que si l'on peut craindre qu'une opposition inerte et passive soit faite à toute tentative de changement dans les habitudes du pesage et du mesurage, il n'y a aucune raison d'admettre qu'une modification radicale en éprouverait une plus grande que des changements partiels ou légers.

« La convenance d'une modification de système étant admise, il est évidemment préférable, puisqu'un changement radical ou partiel serait aussi désagréable l'un que l'autre dans les premiers temps aux populations de l'intérieur du pays, que ce changement soit réel et efficace et non une simple tentative pour faire adopter le système anglais, laquelle serait peut-être suivie, quelques années après, d'autres modifications. »

Il n'y a, dans l'opinion du lieutenant-gouverneur, aucun doute que le système métrique ne soit le meilleur, le plus scientifique, le plus facile à comprendre, et en fait le seul système uniforme qu'il soit facile d'adopter pour l'Inde entière. En conséquence Sa Seigneurie désire recommander à un accueil favorable du gouvernement de l'Inde les propositions du Comité.

Introduction en Allemagne. — Dès 1859, le gouvernement prussien, justement préoccupé de la nécessité d'introduire dans l'association douanière des États allemands, connue sous le nom de Zollverein, l'uniformité des poids et mesures, s'occupa de s'assurer d'abord de la conformité des étalons du mètre et du kilogramme qu'il possédait depuis 1817 avec ceux des Archives de Paris, auxquels ils avaient été comparés à cette époque par Fr. Arago et par de Humboldt.

3° Une Commission, composée de MM. Regnault, Leverrier et Morin, de l'Institut de France, et Brix, conseiller intime et directeur de la Commission centrale des poids et mesures à Berlin, procéda d'abord en février et mars 1859, puis en avril et mai 1860, à la comparaison des kilogrammes[1].

1. Voir le rapport publié par ordre du gouvernement prussien, Berlin, 1860.

En août 1863, une autre Commission, composée des mêmes membres, s'occupa de la comparaison du mètre en platine et d'un mètre en laiton de Berlin, avec le mètre en platine des Archives de Paris.

Les perfectionnements apportés aux appareils de comparaison de 1817 à 1866 avaient permis alors de reconnaître que les étalons appartenant au gouvernement prussien, déclarés identiques avec ceux des Archives par Fr. Arago et Humboldt, en différaient cependant un peu. L'un des kilogrammes en platine de Berlin était trop léger de $0^{mm}.364$, l'autre de $1^{mm}.850$, et le mètre en platine de Berlin était, à la température de zéro, plus long que celui des Archives, de $0^{mm}.00322$, celui de laiton plus court de $0^{mm}.0528$.

On voit que, dès cette époque, le gouvernement prussien envisageait la question des poids et mesures dans tout son ensemble.

Les événements survenus depuis ayant donné encore plus d'importance à l'unification de ces éléments de tous les travaux scientifiques et de toutes les transactions commerciales, ce gouvernement aborda résolûment la solution générale de la question pour toute l'Allemagne du Nord.

En 1868, le 15 juin, le Reichstag avait adopté à une grande majorité un projet de loi relatif à l'introduction du système métrique décimal en Allemagne. Il a été promulgué le 18 août 1868 et est aujourd'hui en usage dans tout l'empire. Les bases de ce système sont absolument les mêmes que celles du système français, quelques noms allemands sont cependant employés dans la nomenclature, concurremment avec ceux de l'échelle décimale. L'usage en est devenu légal à partir du 1er janvièr 1872.

En octobre 1867, l'association scientifique, qui s'est constituée depuis plusieurs années, sous le nom de conférence géodésique internationale pour la mesure des degrés en Europe, et qui compte parmi ses membres une grande partie des géodésistes les plus éminents, mais dans laquelle la France et l'Angleterre n'étaient pas représentées, avait émis, au sujet de la généralisation de l'emploi du système métrique pour ses travaux spéciaux comme pour toutes les recherches scientifiques, des vœux d'une grande importance.

Une Commission, composée de MM. le général Baeyer, Dove et Repsold, trois savants prussiens, ayant fait connaître que la question de la comparaison des étalons de mesure, qui lui avait été renvoyée trois ans auparavant, n'avait pu faire les progrès désirés, par suite de l'insuffisance des moyens de comparaison que l'on possédait alors à Berlin, les questions relatives à l'emploi des comparateurs mécaniques ou optiques, à celui des liquides pour les comparaisons, et celles qui se rattachaient à l'usage du système métrique ont été de nouveau débattues dans la séance du 5 octobre 1867, sous la présidence du général Baeyer, M. Hirsch, de Neuchâtel, étant rapporteur. Les discussions ouvertes à cette occasion ont conduit la conférence à prendre plusieurs résolutions, parmi lesquelles nous ne citerons ici que celles qui se rapportent à la question même du système métrique décimal.

4° Il est dans l'intérêt des sciences en général, et de la géodésie en particulier, qu'un système unique de poids et mesures, avec subdivisions décimales, soit adopté en Europe.

5° Puisque, parmi toutes les mesures qui peuvent entrer en question, le mètre a pour lui la plus grande probabilité d'être accepté généralement, la conférence se prononce pour le choix du système métrique.

6° On recommande d'accepter le système métrique là où il est introduit sans changements et en maintenant partout la subdivision décimale; en particulier, on se prononce contre l'introduction du pied métrique[1].

7° Afin de définir l'unité de mesure pour tous les pays de l'Europe et pour tous les temps, aussi exactement et aussi invariablement que possible, la conférence recommande la construction d'un nouveau mètre prototype européen. La longueur de ce mètre européen devrait différer aussi peu que possible de celle du mètre des Archives de Paris et doit, en tout cas, lui être comparée avec la plus grande exactitude. Dans la construction du nouvel étalon prototype, il faut avoir surtout en vue la facilité et l'exactitude des comparaisons nécessaires.

1. A l'occasion du pied métrique, M. Hulsse, savant directeur de l'Institut polytechnique à Dresde, s'était, trois années auparavant, à Francfort, opposé à son introduction, et M. Hirsch, directeur de l'Observatoire de Neuchâtel, avait fait connaître que la Suisse, après l'avoir admis en 1850, a été obligée d'y renoncer au bout de seize années d'expérience, et d'introduire le mètre lui-même.

8° La construction du nouveau mètre prototype, ainsi que la confection et la comparaison de ses copies, destinées aux différents pays, devraient être confiées à une Commission internationale, dans laquelle les Etats intéressés seraient représentés.

9° La conférence se prononce pour la création d'un bureau international européen des poids et mesures.

L'on voit, par ces extraits, que la conférence tout naturellement, mais un peu exclusivement préoccupée des intérêts de la géodésie, qui n'a besoin que de mesures de longueur et d'angles, et justement confiante dans la haute valeur scientifique de ses membres, faisait trop abstraction des autres conditions de service auxquelles doit satisfaire un système de poids et de mesures et semblait méconnaître que, du moment qu'on admettait pour point de départ le mètre des Archives de Paris, sans tenir compte, avec juste raison, de sa définition théorique, la question d'exécution rentrait complétement dans le domaine des autres branches de la science, la chimie, la physique et la mécanique.

Il était d'ailleurs équitable et cela devint tellement évident que l'on fut unanimement conduit à le reconnaître plus tard, que c'était en France seulement, avec le concours des savants de la patrie du mètre et de ceux de tous les pays qui s'intéresseraient à la question, que les travaux devaient être entrepris.

Enfin, dans ces propositions de la conférence géodésique, il n'était nullement question des poids et des mesures de capacité, ce qui provenait du point de vue exclusif auquel la conférence géodésique s'était placée.

En Autriche, une loi du 23 juillet 1871 a rendu le système métrique décimal facultatif à partir du 1er janvier 1873, et obligatoire à dater du 1er janvier 1876.

L'étalon de longueur est jusqu'ici une règle en verre à bouts sphériques égale, d'après sa comparaison avec le mètre des Archives de Paris, à $0^m.99999764$. L'étalon de poids est un kilogramme en cristal de roche, qui, comparé dans le vide au kilogramme des Archives, a été trouvé égal à $0^k.999997$.

En Hongrie, une loi basée sur les mêmes principes a été sou-

mise en 1872 à l'examen de la Diète, et l'on regarde comme certain qu'elle sera adoptée dans la session prochaine.

En Danemark, le gouvernement vient d'annoncer la présentation d'un projet de loi pour l'adoption exclusive du système.

États-Unis. La question de l'unification des poids et mesures et de l'adoption du système métrique a été, depuis plus de dix ans, l'objet de nombreuses controverses dans la grande république de l'Amérique. Mais l'opinion publique se montre de plus en plus favorable à son introduction, et une loi de 1866 a décidé que le secrétaire de la trésorerie était autorisé et invité à fournir à chaque État de l'Union et à délivrer au gouvernement une série d'étalons de poids et mesures du système métrique pour l'usage des États.

M. Fréd. Barnard, président du collége de Colombie à New-York, a publié en 1872, sur cet objet, un ouvrage très-intéressant, dont nous nous bornons à extraire le tableau suivant qui donne ce qu'on peut appeler la situation du système métrique décimal dans le monde civilisé, à la date de l'année 1872.

1° États qui ont adopté complétement le système métrique :

États.	Population.
France.	38,067,064
Colonies françaises.	2,921,000
Hollande.	3,628,467
Colonies hollandaises.	22,453,000
Belgique.	4,839,094
Espagne.	16,642,000
Colonies espagnoles.	2,030,000
Portugal.	4,349,000
Italie.	25,527,000
Confédération germanique (Nord)	29,910,517
Grèce.	1,348,522
Roumanie.	4,605,000
Inde anglaise.	150,767,851
A reporter.	307,088,515

États.	Population.
Report.	307,088,515
Mexique	8,218,080
Nouvelle-Grenade	2,800,000
Équateur	1,040,000
Pérou	3,374,000
Brésil	9,858,000
Uruguay	387,000
Confédération Argentine	1,736,000
Chili	1,908,000
Total	336,409,595

2° Nations qui ont adopté des valeurs métriques :

Wurtemberg	1,778,396
Bavière	4,824,000
Baden	1,438,000
Hesse	854,000
Suisse	2,510,494
Danemark	2,413,000
Autriche	34,861,000
Turquie	35,360,000
Total	84,038,890

3° Pays dans lesquels l'usage du système métrique est permis :

Grande-Bretagne	31,817,108
États-Unis	36,355,983
Total	68,173,091

L'on voit, par cet état qui résume la situation au commencement de l'année 1872, que l'usage du système métrique décimal s'était déjà étendu, soit d'une manière complète, soit par simple tolérance, sur vingt-huit États, les plus civilisés du monde, comprenant plus de 490 millions d'habitants.

Académie de Saint-Pétersbourg. — L'Académie de Saint-Pétersbourg, de même que d'autres sociétés savantes, avait manifesté

à diverses reprises l'intérêt que lui inspirait la question si grave de l'uniformité des poids et mesures. Dans sa séance du 20 mai 1869, elle avait approuvé les conclusions d'une Commission formée dans son sein et composée de MM. Otto-Struve, Wild et Jacobi, rapporteur. Nous nous contenterons de citer les suivantes :

« Par des raisons scientifiques et d'opportunité, trop souvent répétées pour qu'il puisse être nécessaire d'y revenir ici, toutes les nations civilisées sont tacitement d'accord pour reconnaître au système métrique français les avantages d'un système universel des poids et mesures de l'avenir et pour considérer les étalons déposés aux Archives de France comme des étalons prototypes de ces mesures. »

Après avoir rappelé les propositions de la conférence géodésique réunie à Berlin en 1867, le rapport conclut :

« Qu'il est indispensable d'attirer sur cette affaire toute l'attention des gouvernements, qui nécessairement y devraient prêter leur concours par la nomination d'une Commission internationale, composée de délégués de tous les pays et à laquelle serait confiée la confection des étalons prototypes des mesures de longueur, de capacité et de poids. »

La Commission concluait en proposant :

« Que l'Académie emploie son autorité pour solliciter S. E. M. le ministre de l'instruction publique d'intervenir auprès du gouvernement impérial, pour que tous les États étrangers soient invités à envoyer des délégués pour former une Commission internationale, qui devra se réunir dans une des capitales encore à désigner, dans le but de régler la confection des étalons prototypes métriques, et de créer une unité de mesures véritablement universelle et effectivement internationale. »

A la suite de cette communication, M. Jacobi fut chargé d'en exposer les principes devant l'association britannique pour l'avancement des sciences, qui allait se réunir à Exeter.

Peu de temps après, le savant phycisien exprimait toute sa pensée devant l'Académie des sciences de France[1], dans une note où nous lisons les passages suivants :

1. Séance du 18 octobre 1869.

« L'Académie de Saint-Pétersbourg n'a jamais laissé échapper l'occasion de se prononcer en faveur du système métrique français... Pour rendre ses convictions à cet égard plus manifestes, elle a d'abord formellement émis le vœu que ses membres se servent à l'avenir, dans leurs publications, uniquement des poids et mesures du système métrique français. Ensuite, elle a décidé que des invitations soient adressées aux universités et aux autres corporations scientifiques et techniques du pays, d'adopter le même moyen et de soumettre à M. le ministre de l'instruction publique un Mémoire, pour attirer son attention sur les avantages de répandre dans les écoles primaires une connaissance plus approfondie du calcul décimal et de ses applications au système métrique, etc. »

Plus loin on lit encore :

« En adoptant franchement, comme son prototype, l'étalon déposé aux Archives de France, le monde savant cède moins à une nécessité matérielle qu'au besoin de rendre un hommage éclatant qui est en même temps un juste tribut de reconnaissance, non-seulement à la glorieuse initiative de la France et de ses illustres savants, mais aussi aux sacrifices matériels et intellectuels qu'elle n'a pas cessé de supporter, pendant plus d'un demi-siècle, pour le développement de cette œuvre importante. »

La question de l'universalisation du système métrique décimal avait donc fait, de 1851 à 1869, de rapides progrès. De tous les pays civilisés la tendance vers ce but si désirable s'était manifestée par des demandes, de plus en plus fréquentes, d'étalons comparés à ceux de France, par des opinions émises de diverses manières et finalement par des vœux formels.

L'Académie des sciences de France s'en émut naturellement, et, désireuse d'assurer son concours à l'accomplissement d'un progrès si considérable, elle chargea une Commission prise dans son sein d'examiner la question et de lui en donner son avis[1].

De son côté, M. le ministre de l'instruction publique, bien que le service de la propagation du système métrique ne fût pas

1. Cette Commission était composée de MM. Élie de Beaumont, Mathieu, Morin, Regnault, Leverrier, Faye, et Dumas, rapporteur.

dans ses attributions, avait cru devoir constituer, sous la présidence de M. le maréchal Vaillant, une autre Commission composée de membres de l'Académie et de représentants du Bureau des longitudes, pour s'occuper du même sujet et des moyens de donner satisfaction aux désirs particuliers des géodésistes.

Du rapport remarquable présenté par M. Dumas nous nous bornerons à extraire les passages suivants[1], parce qu'ils étaient les points de départ invariablement admis par l'Académie pour toute solution ultérieure :

« Le mètre et le kilogramme des Archives sont des prototypes représentant, l'un l'unité fondamentale du système métrique, l'autre l'unité de poids.

« Ils doivent être conservés tels, sans modifications. »

La Commission concluait en proposant à l'Académie de demander au gouvernement de provoquer la formation « d'une Commission internationale qui serait chargée d'étudier les moyens d'exécution des étalons destinés aux divers pays, et de choisir les méthodes de comparaison, ou les instruments de vérification qu'il convient de mettre en usage pour les obtenir dans l'état actuel de la science. »

Mesures prises par le gouvernement français.

Au point où la question en était ainsi arrivée en 1869, le gouvernement français n'avait plus qu'une marche à suivre, et son devoir impérieux était de donner, dans le plus bref délai possible, satisfaction à des opinions, à des vœux si honorables pour la France et surtout si conformes au rôle civilisateur qu'à travers tous les événements elle se fait gloire de poursuivre.

Mais son but ne devait pas être de se borner à satisfaire aux besoins des sciences en général et encore moins à ceux de telle ou telle science spéciale, si importante qu'elle fût; il devait envisager l'ensemble de ceux des sociétés civilisées à tous les points de vue scientifiques, industriels et commerciaux, et surtout chercher à étendre le bienfait de la généralisation du système métrique à toutes les nations et principalement même à celles

1. Séance du 23 avril 1869.

qui sont encore le moins avancées, puisque les plus éclairées avaient déjà pourvu ou étaient en état de pourvoir par elles-mêmes à tous leurs besoins.

C'est en se plaçant à ce point de vue plus large que fut rédigé un rapport soumis à l'Empereur le 1er juillet 1869, par le ministre de l'agriculture et du commerce[1], dans les attributions duquel se trouve placé tout ce qui se rattache au service des poids et mesures métriques et à la propagation du système. Nous reproduisons les principaux passages de ce rapport, qui forme la conclusion principale de cet aperçu historique des faits qui ont précédé les travaux de la Commission internationale, réunie à Paris en 1870 et en 1872, et qui ont successivement contribué à former l'opinion publique sur cette grave et importante question.

Paris, le 1er septembre 1869.

RAPPORT A S. M. L'EMPEREUR.

« Sire,

« Le ministère de l'agriculture et du commerce, lors de sa création, a reçu du ministère de l'intérieur, parmi ses attributions les plus utiles, celle d'assurer, de propager et de surveiller, dans toute l'étendue du territoire, l'usage général et uniforme des mesures métriques, et l'organisation du service de vérification a successivement reçu, par ses soins, des améliorations importantes.

« Mais c'est principalement depuis la promulgation de la loi de 1837, qui a rendu l'emploi de ces mesures obligatoire, que ce service a commencé à fonctionner d'une manière régulière.

. . . .

« A la même époque de 1837, le Gouvernement français s'était également préoccupé des relations à établir avec les pays étrangers pour parvenir à propager l'usage du système métrique de mesures, dont les avantages commençaient à être de plus en plus appréciés par les hommes de science et par les ingénieurs.

« Des dispositions furent prises, en conséquence, pour faciliter et multiplier les échanges et les comparaisons de mesures entre les

1. *Journal officiel* du 2 septembre 1869.

divers Etats. En 1840, le ministère de l'agriculture et du commerce avait commandé aux ateliers de l'illustre Gambey, membre de l'Académie des sciences, la construction de collections de mesures métriques destinées à des échanges, que le ministère des affaires étrangères fut invité à provoquer par l'intermédiaire des agents diplomatiques.

« Le service de ces comparaisons et de ces échanges fut confié, en 1848, au Conservatoire des arts et métiers; tous les étalons primitifs que possédait le ministère de l'agriculture et du commerce furent remis à cet établissement, ainsi que les instruments et les appareils de vérification.

« Depuis cette époque, ce service n'a pas cessé de fonctionner et de s'améliorer. Des instruments nouveaux et plus précis ont été ajoutés aux anciens; des procédés ingénieux ont été imaginés pour opérer toutes les vérifications demandées, avec l'exactitude qu'exigent aujourd'hui la science et les arts de précision.

« En même temps que ces efforts persévérants amélioraient et perfectionnaient le service des poids et mesures métriques en France, les avantages de ce système, si logique et si simple, étaient de plus en plus appréciés à l'étranger.

« L'opinion des savants les plus distingués se prononçait partout en faveur de sa généralisation ; les échanges se multipliaient, et le nombre des Etats qui l'adoptaient croissait graduellement. Non-seulement les gouvernements étrangers répondaient avec empressement à nos propositions d'échange de mesures, mais, attachant avec raison le plus grand prix à la précision des comparaisons à faire, ils déléguaient les savants et les physiciens les plus distingués pour participer à ces opérations, dont tous les résultats étaient ainsi vérifiés et contrôlés par les délégués intéressés.

« L'empressement avec lequel toutes les demandes de ce genre ont été accueillies par le Gouvernement de Votre Majesté, l'accord qui n'a jamais cessé de régner, pour toutes ces opérations délicates, entre les savants étrangers et français, ont porté leurs fruits ; les échanges se sont multipliés, et la tendance à l'adoption universelle de notre système s'est manifestée d'une manière plus prononcée.

« Aujourd'hui, douze Etats étrangers l'ont introduit et prescrit officiellement ; ce sont la Belgique, les Pays-Bas, l'Italie, les Etats pontificaux, l'Espagne, le Portugal, la Grèce, le Mexique, le Chili, le Brésil, la Nouvelle-Grenade, les républiques de l'Amérique méridionale.

« Malgré son désir de satisfaire à toutes les demandes semblables et de les voir se multiplier, le ministre de l'agriculture et du commerce devait se préoccuper de la nécessité d'aviser aux moyens d'assurer aux étalons des Archives une parfaite conservation. Une Commission, désignée par l'un de mes prédécesseurs, a pu établir, dans des conditions exceptionnellement favorables, la comparaison entre eux et ceux du Conservatoire, qui devaient être exclusivement employés aux vérifications exigées par le développement du système métrique à l'étranger.

« Dix-huit autres États ont reçu des étalons secondaires, vérifiés par les soins du département de l'agriculture et du commerce.

« Mais là ne doit pas s'arrêter ce mouvement de généralisation d'un système uniforme de poids et de mesures qui, n'ayant en apparence pour but que des objets matériels, est appelé peut-être à exercer sur les nations éclairées une influence pacifique et civilisatrice plus grande qu'on ne serait tenté de le penser au premier aperçu.

« Les Expositions universelles de 1851, 1855, 1862, 1867, en rapprochant, en mettant en rapport les savants, les ingénieurs, les industriels, les commerçants de toutes les nations, ont aussi mis de plus en plus en évidence les avantages d'un système d'unités communes, qui serviraient de bases à tous les travaux, à tous les calculs, à toutes les transactions, et constitueraient en quelque sorte un langage universel.

« Déjà, dans une grande partie de l'Europe, sans prescriptions administratives, sans mesures légales et par la seule force des choses, la plupart des savants et des ingénieurs ont adopté pour leurs calculs, pour leurs travaux, pour l'enseignement, l'usage des mesures métriques.

« Là où il n'est pas prescrit par la loi, il est souvent, comme en Angleterre et aux États-Unis, autorisé par elle ; partout il est admis ou toléré.

« Des Commissions scientifiques, internationales ou libres, se sont prononcées à diverses reprises sur cette importante question, et toutes, sous des formes et parfois avec des restrictions différentes, ont admis en principe l'utilité générale et l'opportunité de l'adoption d'un système décimal des mesures, conforme à celui de la France, et basé sur les étalons métriques déposés dans nos archives.

« Tout récemment, cette question a pris un caractère d'une urgence plus pressante encore, par suite de l'initiative des sociétés savantes de l'Allemagne, et d'une Commission d'enquête constituée en Angleterre pour l'examen des étalons officiels.

. . . .

« Ce concert d'opinions émanées de tant de savants et d'hommes distingués de tous les pays éclairés, cet hommage universel et spontané rendu à la grande pensée qui avait présidé, dès 1790, à la création du système uniforme de nos poids et mesures, et qui justifie les espérances dont nous aurions pu croire la réalisation réservée à nos arrière-neveux, ne pouvait manquer de frapper l'attention du Gouvernement de Votre Majesté et celle de tous les amis de la science et des gloires françaises.

« L'Académie des sciences, le Bureau des longitudes, vos ministres s'en sont émus, et une Commission a été constituée en 1868, sous la présidence de M. le maréchal Vaillant, pour aviser aux moyens de donner satisfaction aux désirs des gouvernements étrangers, en conservant à la France la part d'action et d'initiative qui lui appartient.

« Cette Commission a formulé, dans ce but, les conclusions suivantes, dont je propose à Votre Majesté d'approuver le sens général

« 1° Décider... qu'il sera fait une copie légale, par un mètre à traits, du mètre à bouts des Archives.

« 2° Décider que cette copie sera effectuée par une Commission française à laquelle seront appelés des commissaires désignés par les puissances étrangères.

« 3° Nommer, par un décret, une Commission chargée, dès à présent, de préparer les éléments du travail.

« Lors de la création de la grande Commission scientifique, chargée de l'immense travail que ses membres, parfois au péril de leur vie et au milieu des orages du temps, ont accompli avec tant de dévouement et d'abnégation, la Convention nationale avait appelé à s'associer à tous leurs travaux des délégués des nations étrangères alors en relations avec la France.

« Aujourd'hui plus que jamais, il convient de provoquer, de la part de toutes les puissances qui désireraient y participer, la coopération de savants chargés de prendre part à toutes les études et à toutes les résolutions propres à donner une confiance entière dans l'exactitude des étalons secondaires, dérivés de nos étalons métriques des Archives, qui doivent rester les types uniques et invariables de tous les autres.

« D'une autre part, de pareils travaux exigent des études, des dispositions préparatoires, pour éviter des pertes de temps et pour permettre d'atteindre, le plus promptement possible, le but désiré. Les moyens d'exécution que possède déjà le Conservatoire impérial des arts et métiers, où je me propose de concentrer les opérations, me permettent de croire que cet important travail pourra se faire avec toute l'exactitude et toute la rapidité désirables.

« En conséquence, j'ai l'honneur de proposer à Votre Majesté de constituer, dès à présent, la Commission qui doit représenter la France dans le travail collectif, et qui se composerait de :

MM. Mathieu, membre de l'Institut, président;
Général Morin, membre de l'Institut, directeur du Conservatoire impérial des arts et métiers, vice-président;
Le Verrier, membre de l'Institut, directeur de l'Observatoire impérial;
Laugier, membre de l'Institut et du Bureau des longitudes;
Faye, membre de l'Institut et du Bureau des longitudes;
Fizeau, membre de l'Institut;
H. Sainte-Claire Deville, membre de l'Institut;
Général Jarras, directeur du Dépôt de la guerre;
Tresca, sous-directeur du Conservatoire impérial des arts et métiers, secrétaire.

« 4° D'inviter les gouvernements étrangers qui désireraient se procurer des étalons métriques, comparés à ceux des Archives, à déléguer des savants qui seraient appelés à prendre part aux travaux de la Commission.

« 3° D'ordonner que l'étalon prototype du mètre en platine des Archives sera communiqué à la Commission, sous la surveillance et avec le contrôle de M. le directeur général des Archives de l'Empire, pour servir à la comparaison définitive du mètre à traits, qu'il s'agit d'établir, et qui restera à la disposition de mon ministère, pour servir, avec les autres prototypes, aux vérifications internationales.

« *Le Ministre de l'Agriculture et du Commerce,*

« *Signé :* ALFRED LEROUX.

« Approuvé :

« *Signé :* NAPOLÉON. »

En exécution des propositions contenues dans ce rapport, la dépêche suivante fut adressée par M. le ministre des affaires étrangères à tous les agents diplomatiques de la France à l'étranger. Elle montre suffisamment dans quel esprit de libéralité et d'égalité scientifique les délégués des États étrangers étaient conviés à participer à l'œuvre commune qu'il s'agissait d'accomplir.

Messieurs les agents diplomatiques de l'Empereur en Europe et en Amérique.

Paris, le 16 novembre 1869.

« Monsieur,

« L'Empereur, désirant associer son Gouvernement aux efforts universellement tentés par la science pour répandre l'usage des mesures métriques, a décidé, sur la proposition de M. le Ministre de l'agriculture et du commerce, et conformément au vœu de l'Académie des sciences :

« 1° Que, par les soins d'une Commission spéciale, il serait fait une copie légale, par un mètre à traits, du mètre à bouts déposé aux Archives de l'Empire;

« 2° Que les gouvernements étrangers seraient invités à déléguer des savants chargés de prendre part à toutes les études et à toutes les résolutions propres à donner une confiance entière dans l'exactitude des étalons secondaires dérivés de ceux des Archives.

« Aujourd'hui, comme à l'époque déjà éloignée des travaux de la grande Commission des poids et mesures, la participation sur un pied d'égalité complète des savants français et étrangers paraît être le plus

sûr moyen de conserver au système métrique son caractère d'universalité, et d'obtenir des types véritablement internationaux, parfaitement conformes à ceux des Archives de l'Empire, susceptibles de servir dans chaque pays à tous les travaux scientifiques, en même temps que de préparer l'adoption générale du système.

« Je vous prie donc, monsieur, de vouloir bien faire connaître au Gouvernement, auprès duquel vous êtes accrédité, les mesures que le Gouvernement de l'Empereur considère comme les plus propres à faciliter une solution commune et internationale de cette question.

« Je ne doute pas que le cabinet de....., appréciant le caractère éminemment utile de l'œuvre qu'il s'agit d'accomplir, n'accueille volontiers notre proposition de se faire représenter au sein de la conférence à laquelle je vous serai obligé de le convier dans les termes de la présente dépêche.

« Vous voudrez bien me communiquer, le plus tôt qu'il vous sera possible, la réponse que vous aurez reçue, et, s'il y a lieu, les noms des savants auxquels le Gouvernement..... aura confié la mission de prendre part à des travaux si dignes de l'intérêt de toutes les nations civilisées.

« Agréez, etc.

« *Signé* : Prince de la TOUR-D'AUVERGNE. »

Presque tous les États invités acceptèrent la proposition du gouvernement français, et si quelques-uns crurent devoir s'abstenir, cette détermination de leur part n'eut très-probablement d'autre motif qu'une erreur d'appréciation du but qu'on se proposait d'atteindre. Les uns avaient adopté complétement le système métrique, les autres avaient déjà reçu des étalons comparés à ceux de France, et ils pensèrent qu'il était inutile d'en faire faire de nouveaux. Il est probable qu'informés aujourd'hui qu'il s'agit de faire construire par la Commission internationale des étalons qui, devant être tous comparés à ceux des Archives et ensuite entre eux, puis répartis entre tous les pays intéressés, constitueront un ensemble d'étalons tous équivalents, propres à établir partout une uniformité presque absolue dans toutes les mesures, ces États adhéreront aussi aux travaux de la Commission internationale, soit par l'envoi de délégués spéciaux, ou au moins par la demande d'étalons comparés aux types adoptés.

Quoi qu'il en soit, en 1870, malgré l'imminence d'événements graves, vingt-quatre États avaient accepté la proposition et désigné leurs délégués et, nonobstant l'absence de quelques-uns de ceux-ci, une première réunion eut lieu au Conservatoire des

arts et métiers. Parmi les délégués présents figuraient pour la première fois ceux des États-Unis et de plusieurs autres républiques de l'Amérique. La réunion ne pouvait être que préparatoire, par suite de cette absence forcée, mais elle eut d'abord pour résultat d'agrandir d'un commun accord le champ des travaux demandés à la Commission internationale. Sur la proposition de M. Struve, l'un de ses vice-présidents, qui a dirigé la plupart de ses délibérations, avec autant de talent que d'impartialité, la réunion exprima le vœu que son programme, d'abord limité à la confection d'un mètre à traits international, ainsi que l'avait proposé la Conférence géodésique, fût élargi de façon à comprendre toutes les mesures propres à donner au système métrique un caractère véritablement international et à conformer les nouveaux prototypes aux exigences de la science moderne.

Le ministre de l'agriculture et du commerce s'est empressé de faire savoir à la Commission que le gouvernement français s'en rapportait à la sagesse et aux lumières des membres qui la composaient, en ce qui concerne le cadre des travaux auxquels elle voudrait se livrer, pour la plus grande perfection du système métrique[1].

Dans cette première session, la Commission, sur la proposition de M. Struve, décida aussi la formation d'un Comité des recherches préparatoires auquel devait être remis le soin de faire exécuter et d'examiner les travaux relatifs au but qu'elle poursuivait.

Ce Comité s'est réuni en avril 1872. Il lui a été rendu compte des travaux exécutés par la section française depuis la session de 1870, et l'ensemble de ses délibérations est reproduit dans les procès-verbaux qui ont été publiés.

En septembre 1872, eut lieu la seconde réunion générale de la Commission internationale. Vingt-neuf gouvernements s'y étaient fait représenter, parmi lesquels dix, appartenant à l'Amérique, participaient à ces travaux internationaux. Trente-sept délégués étrangers et dix membres français formaient la réunion.

Douze séances générales et de nombreuses séances de sous-

1. Session de 1870, séance du 9 août.

commissions ont été consacrées à établir les principes et les bases du travail à exécuter et des résultats à obtenir.

Les procès-verbaux des séances, les rapports des sous-commissions et les notes particulières fournies par les membres ont été publiés; nous n'avons pas à en parler ici.

L'unanimité qui a presque toujours été obtenue pour les résolutions proposées après les discussions les plus sér euses montre l'heureux esprit de concorde qui animait les hommes éminents venus des diverses parties du monde civilisé, pour se joindre aux représentants de la France.

Ce résumé historique des vicissitudes auxquelles ont été exposés les savants qui s'étaient dévoués à cette grande réforme scientifique, des phases diverses qu'ont subies l'exécution et l'application des lois qui la promulguaient, des entraves que la routine lui a opposées, des mesures décisives édictées par la loi de 1837, de l'influence favorable des grandes expositions universelles, de l'intervention des savants les plus distingués des diverses contrées d'Europe et d'Amérique, de l'initiative éclairée des gouvernements et de l'appel libéral fait par celui de la France au concours de toutes les nations civilisées, montre qu'il est permis d'espérer, dans un avenir prochain, l'adoption de cette langue universelle des poids et mesures, qui servent à tous les travaux, à toutes les transactions des hommes.

En terminant, il semble juste de mettre en évidence la part plus ou moins considérable qu'ont prise à cette grande œuvre les divers gouvernements qui, depuis plus de quatre-vingts ans, se sont succédé en France.

A cet effet, il suffit de rappeler quelques dates :

En 1790, une première loi est votée par l'Assemblée nationale et sanctionnée par le Roi Louis XVI.

En 1795, loi de la Convention relative aux poids et mesures (18 germinal an III) déterminant la nomenclature.

En 1799, les consuls de la République promulguent la loi qui fixe définitivement la valeur du mètre et du kilogramme.

En 1837, le gouvernement du Roi Louis-Philippe promulgue une loi qui rend le système métrique obligatoire à partir de 1840.

En 1870, le gouvernement impérial invite les puissances

étrangères à envoyer des délégués à la Commission internationale du mètre.

En 1872, la Commission internationale pose et arrête les bases de la confection et de la vérification des étalons internationaux.

Grâce à cette action permanente si puissamment aidée par l'opinion publique et par le concours des autres puissances civilisées, la grande pensée conçue au sein de l'Académie des sciences en 1790, sous les auspices de l'Assemblée nationale et du Roi Louis XVI, sera bientôt réalisée, et il sera permis à la France d'en dédier l'œuvre

A TOUS LES TEMPS, A TOUS LES PEUPLES.

TABLE DES MATIÈRES

CONTENUES

DANS LE NEUVIÈME VOLUME.

Pages.

Paris.— Imp. Viéville et Capiomont, rue des Poitevins, 6.